

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60853-3

Première édition
First edition
2002-02

**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**

**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**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60853-3:2002

Numérotation des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000. Ainsi, la CEI 34-1 devient la CEI 60034-1.

Editions consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique. Des renseignements relatifs à cette publication, y compris sa validité, sont disponibles dans le Catalogue des publications de la CEI (voir ci-dessous) en plus des nouvelles éditions, amendements et corrigenda. Des informations sur les sujets à l'étude et l'avancement des travaux entrepris par le comité d'études qui a élaboré cette publication, ainsi que la liste des publications parues, sont également disponibles par l'intermédiaire de:

- Site web de la CEI (www.iec.ch)
- Catalogue des publications de la CEI

Le catalogue en ligne sur le site web de la CEI (www.iec.ch/catlg-f.htm) vous permet de faire des recherches en utilisant de nombreux critères, comprenant des recherches textuelles, par comité d'études ou date de publication. Des informations en ligne sont également disponibles sur les nouvelles publications, les publications remplacées ou retirées, ainsi que sur les corrigenda.

- IEC Just Published

Ce résumé des dernières publications parues (www.iec.ch/JP.htm) est aussi disponible par courrier électronique. Veuillez prendre contact avec le Service client (voir ci-dessous) pour plus d'informations.

- Service clients

Si vous avez des questions au sujet de cette publication ou avez besoin de renseignements supplémentaires, prenez contact avec le Service clients:

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

Publication numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series. For example, IEC 34-1 is now referred to as IEC 60034-1.

Consolidated editions

The IEC is now publishing consolidated versions of its publications. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Further information on IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology. Information relating to this publication, including its validity, is available in the IEC Catalogue of publications (see below) in addition to new editions, amendments and corrigenda. Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is also available from the following:

- IEC Web Site (www.iec.ch)
- Catalogue of IEC publications

The on-line catalogue on the IEC web site (www.iec.ch/catlg-e.htm) enables you to search by a variety of criteria including text searches, technical committees and date of publication. On-line information is also available on recently issued publications, withdrawn and replaced publications, as well as corrigenda.

- IEC Just Published

This summary of recently issued publications (www.iec.ch/JP.htm) is also available by email. Please contact the Customer Service Centre (see below) for further information.

- Customer Service Centre

If you have any questions regarding this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre:

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

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60853-3

Première édition
First edition
2002-02

**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**

**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**

© IEC 2002 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher.

International Electrotechnical Commission, 3, rue de Varembé, PO Box 131, CH-1211 Geneva 20, Switzerland
Telephone: +41 22 919 02 11 Telefax: +41 22 919 03 00 E-mail: inmail@iec.ch Web: www.iec.ch



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

N

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	4
INTRODUCTION	6
1 Domaine d'application	8
2 Références normatives	8
3 Symboles	10
4 Description de la méthode	12
4.1 Description générale	12
4.2 Principes	12
4.3 Formules	14
Annexe A (informative) Exemple de calcul	20
Annexe B (informative) Caractéristiques des câbles et de la courbe de charge utilisés pour exemple	26

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60853-3:2002

CONTENTS

FOREWORD.....	5
INTRODUCTION.....	7
1 Scope.....	9
2 Normative references	9
3 Symbols	11
4 Description of method.....	13
4.1 General description	13
4.2 Principles	13
4.3 Formulae.....	15
Annex A (informative) Example calculation	21
Annex B (informative) Details of cables and load used for example.....	27

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60853-3:2002

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Électrotechnique Internationale) 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. 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 intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, spécifications techniques, rapports techniques ou guides et agréés comme tels par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Norme internationale 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 60853-3 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
20/493/FDIS	20/512/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 3.

Les annexes A et B sont données uniquement à titre d'information.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant 2007. A cette date, la publication sera

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

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**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**

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the 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, the IEC publishes International Standards. 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. The 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 the 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 National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical specifications, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 60853-3 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
20/493/FDIS	20/512/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 3.

Annexes A and B are for information only.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until 2007. At this date, the publication will be

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

INTRODUCTION

La CEI 60853-1 et la CEI 60853-2 donnent des méthodes de calcul de la capacité de transport en régime cyclique pour des câbles enterrés. La partie 1 concerne les câbles dont la capacité thermique peut être négligée. La partie 2 concerne les câbles dont la capacité thermique ne peut être négligée.

Dans la partie 1 et la partie 2, on fait l'hypothèse fondamentale que les caractéristiques thermiques du sol sont uniformes pour l'ensemble du champ thermique du câble. Pour de nombreuses installations une telle hypothèse est acceptable et une approche plus sophistiquée n'est pas nécessaire.

Cependant, du fait de températures de fonctionnement plus élevées, l'éventualité est devenue plus grande que le sol entourant immédiatement le câble puisse perdre tellement d'humidité qu'il s'assèche au point d'atteindre une valeur de résistivité thermique supérieure à celle correspondant à son état normal sur le site. La réduction de la capacité de transport admissible du câble de manière à éviter un échauffement excessif peut être significative.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60853-3:2002

INTRODUCTION

Methods for calculating cyclic ratings for cables installed in the ground are given in IEC 60853-1 and IEC 60853-2. Part 1 is applicable to cables having negligible thermal capacitance; Part 2 is applicable to cables where their thermal capacitance cannot be neglected.

A fundamental assumption in Part 1 and Part 2 is that the thermal properties of the soil are uniform throughout the thermal field of the cable. For many installations, such an assumption is acceptable and further refinement is unnecessary.

However, higher working temperatures increase the probability that the soil immediately around a cable may lose so much of its moisture that it dries out to a significantly higher value of thermal resistivity than that corresponding to its normal site condition. The reduction in permissible current-carrying capacity of a cable, necessary to avoid overheating, can be significant.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60853-3:2002

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 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60853 donne une méthode de calcul du facteur de capacité de transport cyclique pour les câbles de toute tension, lorsqu'un assèchement partiel du sol environnant est attendu. La méthode est basée sur l'une des trois méthodes publiées dans un document CIGRÉ¹. La méthode est applicable à tout type de câble, mais il est actuellement recommandé de ne l'appliquer qu'aux installations n'ayant qu'un seul câble multipolaire ou trois câbles unipolaires ou à des groupes de circuits où l'espacement entre circuits est suffisant pour permettre une migration verticale libre de l'humidité du sol entre les zones de sol sec associées à chaque circuit. Cette norme n'écarte pas l'utilisation d'autres méthodes de calcul dans lesquelles le cycle de charge n'est pas complètement détaillé.

La méthode suppose que toute la zone entourant un câble ou des câbles a des caractéristiques thermiques homogènes avant l'assèchement, la seule non-homogénéité étant celle causée par l'assèchement. En conséquence, il convient de ne pas appliquer la méthode sans autres considérations aux installations où des remblais contrôlés ayant des caractéristiques thermiques différentes de celles du sol du site sont utilisés.

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

CEI 60853-1, *Calcul des capacités de transport des câbles pour les régimes de charge cycliques et de surcharge de secours – Première partie: Facteur de capacité de transport cyclique pour des câbles de tensions inférieures ou égales à 18/30 (36) kV*

CEI 60853-2:1989, *Calcul des capacités de transport des câbles pour les régimes de charge cycliques et de surcharge de secours – Deuxième partie: Régime cyclique pour des câbles de tensions supérieures à 18/30 (36) kV et régimes de secours pour des câbles de toutes tensions*

¹ Méthodes pour le calcul des capacités de transport cyclique pour les câbles enterrés avec assèchement partiel du sol environnant: *Electra* No 145, décembre 1992, page 32.

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 Scope

This part of IEC 60853 gives a method for calculating the cyclic rating factor, for cables of all voltages, where partial drying out of the surrounding soil is anticipated. The method is based on one of the three methods published in a CIGRE¹ document. The method is applicable to any type of cable, but it is recommended that it should be applied only to installations of one multi-core cable or to three single-core cables or to groups of circuits where the inter-circuit spacing is sufficient to permit free vertical movement of soil moisture between the zones of dry soil associated with each circuit. This standard does not preclude the use of other methods of calculation where full details of the load cycle are not known.

The method assumes that the entire region surrounding a cable or cables has uniform thermal characteristics prior to drying out; the only non-uniformity being that caused by drying. As a consequence the method should not be applied, without further consideration, to installations where special backfills, having properties different from the site soil, are used.

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

IEC 60853-1, *Calculation of the cyclic and emergency current rating of cables – Part 1: Cyclic rating factor for cables up to and including 18/30 (36) kV*

IEC 60853-2:1989, *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*

¹ Methods for calculating cyclic ratings for buried cables with partial drying out of the surrounding soil: *Electra* No 145, December 1992, page 32.

3 Symboles

a, b	coefficients utilisés pour calculer l'échauffement partiel des câbles, s^{-1}
e	2,7183
i	temps exprimé en heures (h)
k	rapport de l'échauffement de la surface du câble au-dessus de la température ambiante à l'échauffement de l'âme au-dessus de la température ambiante en régime permanent
n	nombre de conducteurs
t	temps exprimé en secondes (s)
v	rapport des résistivités thermiques des zones de sol sec et humide ($v = \rho_d / \rho_w$)
A, A', B	variables intermédiaires, utilisées en 4.3.1 et 4.3.2
D_e	diamètre extérieur du câble, en mètres (m)
Ei	fonction exponentielle intégrale
L	profondeur de pose, en mètres (m)
M	facteur de capacité de transport cyclique
M_1	facteur de capacité de transport cyclique corrigé pour prendre en compte la migration d'humidité
Q_A, Q_B	éléments du circuit thermique à deux cellules, J/m·K
T_a, T_b	résistances thermiques apparentes utilisées pour calculer le transitoire partiel des câbles, K·m/W
T_A, T_B	éléments du circuit thermique équivalent du câble, K·m/W
T_1	résistance thermique de l'isolation de chaque âme, K·m/W
T_3	résistance thermique du revêtement extérieur d'un câble, K·m/W
T_4	résistance thermique externe du câble, K·m/W
W_d	pertes diélectriques par câble, W/m
Y_i	pertes des câbles, exprimées comme fraction de leur valeur maximale, à l'instant i (h) avant l'instant où la température maximale de l'âme est atteinte, W/m
$\alpha(t)$	facteur d'approche pour l'échauffement de l'âme par rapport à la surface du câble
$\beta(t)$	facteur d'approche pour l'échauffement de la surface du câble par rapport à la température ambiante
δ	diffusivité thermique du sol, m^2/s
λ	coefficient de pertes dans les écrans métalliques et les armures
μ	facteur de charge des pertes
ρ_w	résistivité thermique du sol humide, K·m/W
ρ_d	résistivité thermique du sol sec, K·m/W
θ_c	échauffement de l'âme dû aux pertes totales du câble, en kelvins (K)
θ'_c	échauffement de l'âme dû aux seules pertes joule du câble, en kelvins (K)
$\theta'_c(i)$	échauffement de l'âme à l'instant i (h), en kelvins (K)
θ_x	échauffement critique du sol par rapport à la température ambiante, en kelvins (K)

NOTE Tous les symboles de température concernent des échauffements par rapport à la température ambiante.

3 Symbols

a, b	coefficients used for calculating cable partial temperature rise, s^{-1}
e	2,7183
i	time, in hours (h)
k	steady-state ratio of cable surface temperature rise to conductor temperature rise, above ambient
n	number of cores
t	time, in seconds (s)
ν	ratio of dry to wet soil thermal resistivities ($\nu = \rho_d / \rho_w$)
A, A', B	intermediate variables, used in 4.3.1 and 4.3.2
D_e	cable external diameter, in meters (m)
Ei	exponential integral function
L	depth a cable is laid below ground surface, in meters (m)
M	cyclic rating factor
M_1	cyclic rating factor corrected for moisture migration
Q_A, Q_B	elements of two part thermal circuit of cable, J/m·K
T_a, T_b	apparent thermal resistances used to calculate cable partial transient, K·m/W
T_A, T_B	elements of equivalent thermal circuit of cable, K·m/W
T_1	thermal resistance of cable insulation per conductor, K·m/W
T_3	thermal resistance of cable covering, K·m/W
T_4	external thermal resistance of cable, K·m/W
W_d	dielectric losses per cable, W/m
Y_i	cable losses, expressed as a fraction of their maximum value, at a time i (h) prior to the time of maximum conductor temperature, W/m
$\alpha(t)$	attainment factor of temperature difference between cable surface and conductor
$\beta(t)$	attainment factor of temperature difference between ambient and the cable surface
δ	soil thermal diffusivity, m^2/s
λ	armour/sheath loss factor
μ	loss load factor
ρ_w	soil thermal resistivity for moist soil, K·m/W
ρ_d	soil thermal resistivity for dry soil, K·m/W
θ_c	conductor temperature rise due to total cable losses, in kelvins (K)
θ'_c	conductor temperature rise due to joule losses only, in kelvins (K)
$\theta'_c(i)$	conductor temperature rise at time i (h), in kelvins (K)
θ_x	critical value of soil temperature rise above ambient, in kelvins (K)

NOTE All temperature symbols refer to rises above ambient.

4 Description de la méthode

4.1 Description générale

Cette méthode est une extension des techniques utilisées dans la CEI 60853-1 et la CEI 60853-2 pour calculer les facteurs de capacité de transport cyclique d'un câble dans le cas d'un sol homogène.

La méthode repose sur la connaissance de la température critique du sol, à partir de laquelle l'assèchement du sol intervient rapidement.

NOTE En l'absence d'information plus précise, cette température peut être prise égale à 50 °C.

La taille de la zone sèche dépend fortement de la température critique. Pour une température d'âme donnée, la taille de la zone sèche a une forte influence sur la capacité de transport en régime de charge constante mais a peu d'impact sur le rapport entre la capacité de transport pour un régime cyclique et la capacité de transport en régime permanent.

On suppose d'abord que la température critique du sol est égale à la valeur cyclique crête de la température à la surface du câble, c'est-à-dire qu'une zone sèche est sur le point d'apparaître, de sorte que le sol autour du câble a des caractéristiques uniformes correspondant à son état humide sur site. Le facteur de capacité de transport cyclique dans ces conditions se déduit des méthodes déjà données dans la CEI 60853-1 ou la CEI 60853-2.

Ensuite, ce facteur est ajusté pour s'appliquer à la capacité de transport en régime permanent correspondant à la même valeur supposée de la température critique, lorsqu'une zone asséchée apparaît. Cet ajustement est effectué en utilisant la formule donnant la résistance thermique externe du câble appropriée au calcul du régime permanent.

Un tel facteur peut alors être utilisé pour multiplier la capacité de transport en régime permanent pour toute autre valeur de la température critique du sol de manière à obtenir le courant de crête admissible.

4.2 Principes

En général, la taille de la zone asséchée lorsque sa frontière atteint juste un certain échauffement critique en régime cyclique est plus petite que la zone qui se formerait pour la même valeur de l'échauffement critique en régime permanent. La situation où l'échauffement de la surface du câble est juste égal à l'échauffement critique et où une zone sèche se forme seulement en régime permanent est un cas particulier. Cependant, un facteur de capacité de transport cyclique déterminé dans ce cas est applicable à la capacité de transport en régime permanent avec toute autre valeur de l'échauffement critique et de la taille de la zone sèche.

Une étape supplémentaire est nécessaire pour utiliser un facteur de capacité de transport cyclique basé sur une température critique égale à la température à la surface du câble. Du fait du type de calcul utilisé dans la CEI 60853-1 et la CEI 60853-2 pour déterminer les facteurs de capacité de transport cycliques, la valeur du facteur obtenu suppose que la résistance thermique externe du câble est la même à la fois en régime permanent et en régime cyclique. La valeur correcte du courant à la pointe du cycle de charge est obtenue quand le facteur de capacité de transport cyclique multiplie la capacité de transport en régime permanent relative à cette valeur de la résistance.

Alors que cette égalité de la résistance thermique externe s'applique dans les conditions de non-migration uniforme supposées dans la CEI 60287-2-1, la CEI 60853-1 et la CEI 60853-2, il n'en est pas de même lorsqu'un assèchement survient. La taille de la zone sèche – et donc la résistance thermique du câble – change avec le type de charge. Dans ce cas, le facteur doit être ajusté de manière à pouvoir être utilisé comme facteur multiplicatif de la capacité de transport déterminée pour la valeur la plus élevée de la résistance thermique apparaissant en régime permanent. Un tel ajustement peut être réalisé en utilisant le rapport des résistances thermiques externes à considérer.

4 Description of method

4.1 General description

This method is an extension of the techniques used in IEC 60853-1 and IEC 60853-2 for calculating cyclic rating factors for a cable in uniform soil.

The method relies on a knowledge of the soil critical temperature; this is the temperature at which drying out of the soil takes place rapidly.

NOTE In the absence of more precise information, this temperature may be taken as 50 °C.

The size of the dry zone changes substantially with critical temperature. For a given conductor temperature the size of the dry zone will have a significant effect on the steady-state rating but the cyclic factor multiplying that steady-state rating is largely unaffected.

It is assumed initially that the soil critical temperature is equal to the peak cyclic value of the cable surface temperature, i.e. a dry zone is on the point of occurring, so that the soil surrounding the cable has uniform properties appropriate to its wet, on-site, state. The cyclic rating factor for these conditions is derived by the methods already given in IEC 60853-1 or IEC 60853-2.

This factor is then adjusted so that it applies to the steady-state rating for the same assumed value of critical temperature, when there will be a dried-out zone. This adjustment is effected using formulae for the cable external thermal resistance appropriate to the steady-state procedure.

Such a factor can then be used to multiply the steady-state rating for any other soil critical temperature in order to obtain the appropriate permissible peak current.

4.2 Principles

In general, the size of a dry zone where the boundary just achieves a certain critical temperature rise with cyclic loading is smaller than the zone which will form for the same critical temperature rise with steady-state loading. The situation where the cable surface temperature rise is just equal to the soil critical temperature, and a dry zone forms only with steady-state loading, is a particular case. However, a rating factor determined for this latter case is applicable to the steady-state rating with any other critical temperature rise and size of dry zone.

One further step is necessary in order to use a cyclic factor based on a critical temperature equal to the cable surface temperature. Because of the nature of the computation used in IEC 60853-1 and IEC 60853-2 to derive cyclic rating factors, the value of the factor obtained assumes that the cable external thermal resistance is the same for both cyclic and steady-state loading. The correct value of peak current for the load cycle is obtained when the cyclic factor multiplies the steady-state rating for this value of resistance.

While this equality of external thermal resistance applies for the uniform non-migration conditions assumed in IEC 60287-2-1, IEC 60853-1 and IEC 60853-2, it is not so when drying can take place. The size of the dry zone, and hence the cable external thermal resistance, changes with the type of loading. In the latter case the rating factor has to be adjusted so that it can be used to multiply the rating for the higher external thermal resistance occurring with the steady-state. Such an adjustment can be made by using the ratio of the appropriate external thermal resistances.

Le calcul du facteur de capacité de transport cyclique pour toute valeur de la température critique est effectué comme suit:

- la réponse thermique du câble, prenant en compte l'effet de sa capacité thermique interne, est obtenue en utilisant les formules appropriées de 4.2.1, 4.2.2 et 4.2.3 de la CEI 60853-2;
- la réponse thermique du sol et l'effet des câbles adjacents dans un circuit (le cas échéant) sont obtenus à partir des formules des articles 5 à 7 de la CEI 60853-2;
- l'effet de l'assèchement est obtenu selon 4.3.2.

4.3 Formules

4.3.1 Sans assèchement

L'article 5 de la CEI 60853-2 donne plusieurs expressions possibles pour le facteur de capacité de transport cyclique, mais la formule générale est celle-ci:

$$M = \frac{1}{(A + B)^{0,5}} \quad (1)$$

où

$$A = \sum_{i=0}^5 Y_i \left[\frac{\theta'_c(i+1)}{\theta'_c(\infty)} - \frac{\theta'_c(i)}{\theta'_c(\infty)} \right] \text{ avec } \frac{\theta'_c(0)}{\theta'_c(\infty)} = 0 \quad (2)$$

et

$$B = \mu \left[1 - \frac{\theta'_c(6)}{\theta'_c(\infty)} \right] \quad (3)$$

$$\frac{\theta'_c(t)}{\theta'_c(\infty)} = [1 - k + k\beta(t)]\alpha(t) \quad (4)$$

NOTE 1 Les échauffements auxquels on se réfère ici sont essentiellement ceux dus aux seules pertes joule et les équations mentionnées en tiennent compte. Un symbole suivi par une valeur ou un symbole entre parenthèses indique une quantité variable avec le temps et un prime (') sur un symbole indique une quantité relative aux seules pertes joule.

$$\beta(t) = \frac{Ei\left(\frac{-D_e^2}{16\delta t}\right)}{2 \cdot \ln\left(\frac{4L}{D_e}\right)} \quad (5)$$

NOTE 2 Le terme représentant l'effet de l'image du câble est omis dans l'équation (5) parce que l'on ne considère que des durées inférieures à 6 h.

$$\alpha(t) = \frac{T_a(1 - e^{-at}) + T_b(1 - e^{-bt})}{(T_A + T_B)} \quad (6)$$

$$k = \frac{(1 + \lambda)T_4}{T_A + T_B + (1 + \lambda)T_4} \quad (7)$$

où

λ est le coefficient de pertes dans les écrans métalliques et les armures;

μ est le facteur de charge des pertes du cycle considéré.

The computation of a cyclic rating factor, for any critical temperature, is effected as follows:

- the thermal response of the cable, including the effect of its internal thermal capacitance, is obtained by the use of appropriate formulae from 4.2.1, 4.2.2 and 4.2.3 of IEC 60853-2;
- the thermal response of the soil, and the effect of adjacent cables in a group (if any), are obtained by the use of formulae from clauses 5 to 7 of IEC 60853-2;
- the effect of drying out is obtained by the use of 4.3.2.

4.3 Formulae

4.3.1 Without drying out

There are optional formulae for a cyclic rating factor in clause 5 of IEC 60853-2 but the general one is as follows:

$$M = \frac{1}{(A + B)^{0.5}} \quad (1)$$

where

$$A = \sum_{i=0}^5 Y_i \left[\frac{\theta'_c(i+1)}{\theta'_c(\infty)} - \frac{\theta'_c(i)}{\theta'_c(\infty)} \right] \text{ with } \frac{\theta'_c(0)}{\theta'_c(\infty)} = 0 \quad (2)$$

and

$$B = \mu \left[1 - \frac{\theta'_c(6)}{\theta'_c(\infty)} \right] \quad (3)$$

$$\frac{\theta'_c(t)}{\theta'_c(\infty)} = [1 - k + k\beta(t)]\alpha(t) \quad (4)$$

NOTE 1 The temperature rises referred to here are mostly those due to the joule losses only, and the equations quoted take this into account at the appropriate stages. A symbol followed by a value or a symbol in parentheses indicates a time varying quantity and a prime (') over a symbol indicates a quantity which is related to joule losses only.

$$\beta(t) = \frac{-Ei\left(\frac{-D_e^2}{16\delta t}\right)}{2 \cdot \ln\left(\frac{4L}{D_e}\right)} \quad (5)$$

NOTE 2 The term representing the effect of the cable image is omitted from equation (5) because periods up to 6 h only are being considered.

$$\alpha(t) = \frac{T_a(1 - e^{-at}) + T_b(1 - e^{-bt})}{(T_A + T_B)} \quad (6)$$

$$k = \frac{(1 + \lambda)T_4}{T_A + T_B + (1 + \lambda)T_4} \quad (7)$$

where

λ is the sheath/armour loss factor;

μ is the loss load factor for the particular load cycle.

Pour les câbles dont la capacité thermique interne n'est pas importante – typiquement les câbles de tension jusqu'à 18/30(36) kV inclus – les équations donnant M sont considérablement plus simples et peuvent être trouvées dans la CEI 60853-1.

4.3.2 Avec assèchement

Le calcul prenant en compte la possibilité d'un assèchement est mené de la manière suivante:

- a) le facteur M est ajusté pour tenir compte de la présence d'une zone sèche en régime permanent. Cela est réalisé en calculant le rapport de l'échauffement de la surface du câble à l'échauffement de l'âme en régime cyclique, à l'aide de l'équation (8).

$$\frac{\theta'_{SPK}}{\theta'_c} = 1 - M^2(1 - k)(A' + \mu(1 - \alpha(6))) \quad (8)$$

où

θ'_c est l'échauffement admissible de l'âme en régime permanent, dû aux pertes joule, en kelvins (K);

θ'_{SPK} est l'échauffement cyclique de crête de la surface du câble, en kelvins (K);

M est le facteur de capacité de transport cyclique déduit de l'équation (1).

$$A' = \sum_{i=0}^5 Y_i [\alpha(i+1) - \alpha(i)] \quad (9)$$

$$\theta'_c = \theta_c - W_d \left(\frac{T_A}{2} + T_3 + T_4 \right) \quad (10)$$

où

θ_c est l'échauffement maximal admissible de l'âme, en kelvins (K), dû aux pertes totales du câble;

W_d sont les pertes diélectriques du câble considéré, en W/m;

T_A est la résistance thermique de l'isolation du câble, ou du câble équivalent, en K·m/W;

T_3 est la résistance thermique du revêtement du câble, en K·m/W;

T_4 est la résistance thermique externe du câble pour un sol présumé humide, en K·m/W.

NOTE La démarche à suivre pour représenter un câble tripolaire par un câble unipolaire équivalent est décrite dans la CEI 60853-2.

- b) l'échauffement de crête de la surface du câble doit être comparé à l'échauffement critique du sol θ_x avant de poursuivre, pour évaluer la possibilité d'un assèchement:

- si $(\theta'_{SPK} + W_d T_4)$ n'est pas supérieur à l'échauffement critique du sol, alors il n'y a pas d'assèchement et le facteur de capacité de transport cyclique est donné par M sans aucune correction;
- si l'échauffement de crête de la surface du câble $(\theta'_{SPK} + W_d T_4)$ est supérieur à la valeur critique, alors la valeur corrigée M_1 doit être calculée.

- c) la valeur corrigée est calculée de la manière suivante:

For cables where the internal thermal capacitance is not important, notionally cables for voltages up to and including 18/30(36) kV, the equations for M are considerably simpler and can be found in IEC 60853-1.

4.3.2 With drying out

The computation to deal with the case of possible drying out is as follows:

- a) the factor M is adjusted for the presence of a dry zone under steady-state loading conditions. This is done by calculating the ratio of the cable surface temperature rise to the conductor temperature rise with a cyclic load using equation (8).

$$\frac{\theta'_{\text{SPK}}}{\theta'_c} = 1 - M^2(1 - k)(A' + \mu(1 - \alpha(6))) \quad (8)$$

where

θ'_c is the permissible steady-state temperature rise of the conductor due to joule losses, in kelvins (K);

θ'_{SPK} is the peak cyclic temperature rise of the cable surface, in kelvins (K);

M is the cyclic rating factor derived from equation (1).

$$A' = \sum_{i=0}^5 Y_i [\alpha(i+1) - \alpha(i)] \quad (9)$$

$$\theta'_c = \theta_c - W_d \left(\frac{T_A}{2} + T_3 + T_4 \right) \quad (10)$$

where

θ_c is the permissible maximum conductor temperature rise due to total cable losses, in kelvins (K);

W_d is the dielectric loss for the cable under consideration, in W/m;

T_A is the thermal resistance of the cable, or equivalent cable, dielectric, in K·m/W;

T_3 is the thermal resistance of the cable covering, in K·m/W;

T_4 is the external thermal resistance of the cable assuming wet soil, in K·m/W.

NOTE The procedure for representing a three-core cable as an equivalent single core cable is set out in IEC 60853-2.

- b) the cable surface peak temperature rise shall be checked against the critical temperature rise of the soil θ_x before going further, in order to assess the possibility of drying out:
- if $(\theta'_{\text{SPK}} + W_d T_4)$ is not greater than the critical temperature rise of the soil, then there will be no drying and the cyclic rating factor is given by M without any correction;
 - if the peak temperature rise of the cable surface $(\theta'_{\text{SPK}} + W_d T_4)$ is greater than the critical value, then the corrected value, M_1 , has to be calculated.
- c) the corrected value is calculated as follows:

$$M_1 = M \left[\frac{1 + k(v - 1)}{1 + \left(\frac{\theta'_{SPK}}{\theta'_c} \right)(v - 1)} \right]^{0,5} \quad (11)$$

où

v est égal à ρ_d / ρ_w ;

ρ_w est la résistivité thermique du sol humide, en K·m/W;

ρ_d est la résistivité thermique du sol sec, en K·m/W.

Pour les câbles dont la capacité thermique interne n'est pas importante – typiquement les câbles de tension jusqu'à 18/30(36) kV inclus – l'équation (11) pour modifier la valeur de M demeure inchangée mais le second membre de l'équation (8) se simplifie en $1 - M^2(1 - k)Y_0$. Pour ces câbles, les pertes diélectriques peuvent généralement être négligées, et alors l'équation (10) devient $\theta'_c = \theta_c$.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60853-3:2002

$$M_1 = M \left[\frac{1 + k(v - 1)}{1 + \left(\frac{\theta'_{SPK}}{\theta'_c} \right) (v - 1)} \right]^{0,5} \quad (11)$$

where

v is equal to ρ_d / ρ_w ;

ρ_w is the thermal resistivity of moist soil, in K·m/W;

ρ_d is the thermal resistivity of dry soil, in K·m/W.

For cables where the internal thermal capacitance is not important, notionally cables for voltages up to and including 18/30(36) kV, equation (11) to modify the value of M remains unchanged, but the right-hand side of equation (8) simplifies to $1 - M^2(1 - k)Y_0$. For these cables, the dielectric losses can usually be ignored and hence equation (10) becomes $\theta'_c = \theta_c$.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60853-3:2002

Annexe A (informative)

Exemple de calcul

L'exemple choisi porte sur un câble tripolaire de 400 mm² en cuivre à huile fluide 132 kV, à gaine de plomb et revêtement PVC.

Ce câble est utilisé pour illustrer la méthode de prise en compte de l'assèchement du sol; il est décrit en détail à l'annexe B.

Les principales caractéristiques requises pour le calcul du facteur de capacité de transport cyclique sont les suivantes:

$$\theta_c = 65 \text{ K (au-dessus de la température ambiante à } 20 \text{ °C)} \quad D_e = 0,109 \text{ m}$$

$$T_1 = 0,835 \text{ K}\cdot\text{m/W} \quad T_3 = 0,09 \text{ K}\cdot\text{m/W}$$

$$\lambda = 0,135 \quad R_c = 0,000\,0615 \text{ }\Omega/\text{m}$$

Les paramètres caractérisant le câble unipolaire équivalent – voir 4.2.1.2 et 4.2.2.2 de la CEI 60853-2 – sont les suivants:

$$T_A = 0,278 \text{ K}\cdot\text{m/W} \quad T_B = 0,1021 \text{ K}\cdot\text{m/W} \quad W_d = 6,03 \text{ W/m par câble}$$

$$Q_A = 11\,352 \text{ J/K}\cdot\text{m} \quad Q_B = 6\,700 \text{ J/K}\cdot\text{m}$$

Le calcul du transitoire thermique partiel selon 4.2.3 de la CEI 60853-2 conduit aux valeurs suivantes:

$$a = 0,002\,09 \quad b = 0,000\,221$$

$$T_a = 0,002\,15 \quad T_b = 0,3782$$

Données relatives au sol:

$$\rho_w = 1 \text{ K}\cdot\text{m/W} \quad \rho_d = 2,5 \text{ K}\cdot\text{m/W} \quad \theta_x = 30 \text{ K}$$

$$\delta = 0,000\,0005 \text{ m}^2/\text{s} \quad \text{Profondeur de pose, } L = 1 \text{ m}$$

Les caractéristiques de la charge sont données à l'annexe B; le facteur de charges des pertes (μ) est égal à 0,504.

La réponse $\alpha(t)$ du câble est donnée par l'équation (6), soit

$$\alpha(t) = \frac{0,00215 \left(1 - e^{-0,00209t}\right) + 0,3782 \left(1 - e^{-0,000221t}\right)}{0,278 + 0,1022}$$

Annex A (informative)

Example calculation

The example chosen is that of a three-core 400 mm² copper, paper-insulated, 132 kV oil-filled, lead sheathed and PVC covered cable.

This cable is used to illustrate the method for dealing with dried-out soil; it is described in detail in annex B.

The principal details required for the calculation of the cyclic rating factor are as follows:

$$\theta_c = 65 \text{ K (above an ambient of } 20^\circ \text{C)}$$

$$D_e = 0,109 \text{ m}$$

$$T_1 = 0,835 \text{ K}\cdot\text{m}/\text{W}$$

$$T_3 = 0,09 \text{ K}\cdot\text{m}/\text{W}$$

$$\lambda = 0,135$$

$$R_c = 0,000\,0615 \text{ }\Omega/\text{m}$$

The equivalent single-core cable – see 4.2.1.2 and 4.2.2.2 of IEC 60853-2 – has the following parameters:

$$T_A = 0,278 \text{ K}\cdot\text{m}/\text{W}$$

$$T_B = 0,1021 \text{ K}\cdot\text{m}/\text{W}$$

$$W_d = 6,03 \text{ W/m per cable}$$

$$Q_A = 11\,352 \text{ J/K}\cdot\text{m}$$

$$Q_B = 6\,700 \text{ J/K}\cdot\text{m}$$

The calculation of cable partial transients according to 4.2.3 of IEC 60853-2 results in the following figures:

$$a = 0,00\,209$$

$$b = 0,000\,221$$

$$T_a = 0,002\,15$$

$$T_b = 0,3782$$

Soil data:

$$\rho_w = 1 \text{ K}\cdot\text{m}/\text{W}$$

$$\rho_d = 2,5 \text{ K}\cdot\text{m}/\text{W}$$

$$\theta_x = 30 \text{ K}$$

$$\delta = 0,000\,0005 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\text{Depth of laying, } L = 1 \text{ m}$$

Load characteristics are given in annex B; the loss load factor (μ) is 0,504.

The cable response $\alpha(t)$ is given by equation (6) and is as follows:

$$\alpha(t) = \frac{0,00215(1 - e^{-0,00209t}) + 0,3782(1 - e^{-0,000221t})}{0,278 + 0,1022}$$

La réponse thermique du sol s'obtient à partir des équations (5) et (7):

où

$$T_4 = \frac{1 \times \ln\left(\frac{4 \times 1}{0,109}\right)}{2\pi} = 0,5734 \quad \text{K} \cdot \text{m/W}$$

$$k = \frac{(1 + 0,135) \times 0,5734}{0,278 + 0,1022 + (1 + 0,135) \times 0,5734} = 0,631$$

$$\beta(t) = \frac{-Ei\left(\frac{(-0,109^2)}{16 \times t \times 0,5 \times 10^{-6}}\right)}{2 \ln\left(\frac{4 \times 1}{0,109}\right)}$$

Le facteur de capacité de transport cyclique est donné par les équations (1), (2) et (3).

Les valeurs suivantes sont obtenues pour les paramètres dépendant du temps.

Temps	$\alpha(t)$	$\beta(t)$	$\frac{\theta'_c(t)}{\theta'_c(\infty)}$
1	0,5513	0,0946	0,2362
2	0,7975	0,1662	0,3778
3	0,9086	0,2137	0,4577
4	0,9588	0,2491	0,5044
5	0,9814	0,2774	0,5337
6	0,9916	0,3008	0,5540

La valeur de M est 1,218, selon 5.2.1 de la CEI 60853-2.

Jusqu'à ce point, les calculs sont effectués selon la CEI 60853-2 qui traite le cas du facteur de capacité de transport cyclique avec un sol uniforme.

Ce qui suit constitue des calculs supplémentaires à effectuer pour prendre en compte un éventuel assèchement du sol.

Le rapport de l'échauffement de la surface du câble à la pointe à l'échauffement de l'âme selon l'équation (8) est le suivant:

$$\frac{\theta'_{SPK}}{\theta'_c} = 1 - 1,218^2 (1 - 0,631) (A' + 0,504 (1 - 0,9916)) = 0,534$$

avec $A' = 0,849$ selon l'équation (9).

The thermal response of the soil is obtained from equations (5) and (7):

where

$$T_4 = \frac{1 \times \ln\left(\frac{4 \times 1}{0,109}\right)}{2\pi} = 0,5734 \text{ K}\cdot\text{m}/\text{W}$$

$$k = \frac{(1 + 0,135) \times 0,5734}{0,278 + 0,1022 + (1 + 0,135) \times 0,5734} = 0,631$$

$$\beta(t) = \frac{-\text{Ei}\left(\frac{(-0,109^2)}{16 \times t \times 0,5 \times 10^{-6}}\right)}{2 \ln\left(\frac{4 \times 1}{0,109}\right)}$$

The cyclic rating factor is given by equations (1), (2) and (3).

The following values are obtained for the time dependent items:

Time period	$\alpha(t)$	$\beta(t)$	$\frac{\theta'_c(t)}{\theta'_c(\infty)}$
1	0,5513	0,0946	0,2362
2	0,7975	0,1662	0,3778
3	0,9086	0,2137	0,4577
4	0,9588	0,2491	0,5044
5	0,9814	0,2774	0,5337
6	0,9916	0,3008	0,5540

The value of M is 1,218, from 5.2.1 of IEC 60853-2.

Up to this point, the calculations are those already given in IEC 60853-2 for the cyclic rating factor with uniform soil.

What follows is the additional computation required to deal with possible drying out.

The ratio of peak cable surface temperature rise to conductor temperature rise, from equation (8) is

$$\frac{\theta'_{\text{SPK}}}{\theta'_c} = 1 - 1,218^2 (1 - 0,631) (A' + 0,504(1 - 0,9916)) = 0,534$$

with $A' = 0,849$ from equation (9).