



IEC 60287-2-1

Edition 1.2 2006-05

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

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

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

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

CH

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	6
INTRODUCTION.....	10
1 Généralités.....	12
1.1 Domaine d'application	12
1.2 Symboles	12
2 Calcul des résistances thermiques	18
2.1 Résistances thermiques des constituants des câbles, T_1 , T_2 et T_3	18
2.1.1 Résistance thermique entre âme et gaine T_1	18
2.1.2 Résistance thermique entre gaine et armure T_2	24
2.1.3 Résistance thermique du revêtement externe T_3	26
2.1.4 Cas des câbles en tuyau	26
2.2 Résistance thermique extérieure T_4	28
2.2.1 Câbles posés à l'air libre	28
2.2.2 Un seul câble enterré	30
2.2.3 Groupe de câbles enterrés (non jointifs)	30
2.2.4 Groupes de câbles enterrés (jointifs) uniformément chargés.....	36
2.2.5 Tuyaux enterrés	38
2.2.6 Câbles en caniveaux enterrés.....	38
2.2.7 Câbles en fourreaux ou en tuyaux	40
3 Calcul numérique des quantités indiquées sous forme de graphiques.....	44
3.1 Généralités.....	44
3.1.1 Facteur géométrique G pour les câbles bipolaires à ceinture à âmes circulaires (figure 2)	44
3.1.2 Facteur géométrique G pour les câbles tripolaires à ceinture à âmes circulaires (figure 3)	46
3.1.3 Résistance thermique des câbles tripolaires métallisés à ceinture à âmes circulaires rapportée à celle des câbles correspondants non métallisés (figure 4)	48
3.1.4 Résistance thermique des câbles tripolaires métallisés à âmes sectorales rapportée à celle des câbles analogues non métallisés (figure 5)	48
3.1.5 Facteur géométrique \bar{G} pour la résistance thermique des bourrages et revêtements des câbles triplombs ou sous gaines d'aluminium individuelles (figure 6)	50
3.2 Calcul graphique de $\Delta\theta_S$ (figure 8).....	50

CONTENTS

FOREWORD.....	7
INTRODUCTION.....	11
1 General.....	13
1.1 Scope.....	13
1.2 Symbols.....	13
2 Calculation of thermal resistances.....	19
2.1 Thermal resistance of the constituent parts of a cable, T_1 , T_2 and T_3	19
2.1.1 Thermal resistance between one conductor and sheath T_1	19
2.1.2 Thermal resistance between sheath and armour T_2	25
2.1.3 Thermal resistance of outer covering (serving) T_3	27
2.1.4 Pipe-type cables.....	27
2.2 External thermal resistance T_4	29
2.2.1 Cables laid in free air.....	29
2.2.2 Single isolated buried cable.....	31
2.2.3 Groups of buried cables (not touching).....	31
2.2.4 Groups of buried cables (touching) equally loaded.....	37
2.2.5 Buried pipes.....	39
2.2.6 Cables in buried troughs.....	39
2.2.7 Cables in ducts or pipes.....	41
3 Digital calculation of quantities given graphically.....	45
3.1 General.....	45
3.1.1 Geometric factor G for two-core belted cables with circular conductors (figure 2).....	45
3.1.2 Geometric factor G for three-core belted cables with circular conductors (figure 3).....	47
3.1.3 Thermal resistance of three-core screened cables with circular conductors compared to that of a corresponding unscreened cable (figure 4).....	49
3.1.4 Thermal resistance of three-core screened cables with sector-shaped conductors compared to that of a corresponding unscreened cable (figure 5).....	49
3.1.5 Curve for \bar{G} for obtaining the thermal resistance of the filling material between the sheaths and armour of SL and SA type cables (figure 6).....	51
3.2 Calculation of $\Delta\theta_s$ by means of a diagram (figure 8).....	51

Figure 1 – Diagramme montrant un groupe de câbles q et leur symétrie par rapport à la surface du sol	60
Figure 2 – Facteur géométrique G pour les câbles bipolaires à ceinture et âmes circulaires (voir 2.1.2.1)	62
Figure 3 – Facteur géométrique G pour les câbles tripolaires à ceinture et âmes circulaires (voir 2.1.2.3)	64
Figure 4 – Résistance thermique linéique des câbles tripolaires métallisés à ceinture et âmes circulaires rapportée à celle des câbles correspondants non métallisés (voir 2.1.1.3.1)	66
Figure 5 – Résistance thermique linéique des câbles tripolaires métallisés à âmes sectoriales rapportée à celle des câbles analogues non métallisés (voir 2.1.1.3.3)	68
Figure 6 – Facteur géométrique \bar{G} pour la résistance thermique des bourrages et revêtements des câbles triplombs ou sous gaines d'aluminium individuelles (voir 2.1.2.2)	70
Figure 7a – Coefficient de dissipation de chaleur pour câbles à surfaces noires posés à l'air libre	72
Figure 7b – Coefficient de dissipation de chaleur pour câbles à surfaces noires posés à l'air libre	74
Figure 7c – Coefficient de dissipation de chaleur pour câbles à surfaces noires posés à l'air libre	76
Figure 8 – Abaque pour le calcul de la résistance thermique externe des câbles dans l'air	78
Tableau 1 – Résistivité thermique des matériaux	54
Tableau 2 – Valeurs des constantes Z , E et g pour les surfaces noires des câbles à l'air libre	56
Tableau 3 – Coefficient d'absorption des rayons solaires pour les surfaces de câble suivantes	58
Tableau 4 – Valeurs des constantes U , V et Y	58

Figure 1 – Diagram showing a group of q cables and their reflection in the ground-air surface.....	61
Figure 2 – Geometric factor G for two-core belted cables with circular conductors (see 2.1.2.1)	63
Figure 3 – Geometric factor G for three-core belted cables with circular conductors (see 2.1.2.3)	65
Figure 4 – Thermal resistance of three-core screened cables with circular conductors compared to that of a corresponding unscreened cable (see 2.1.1.3.1).....	67
Figure 5 – Thermal resistance of three-core screened cables with sector-shaped conductors compared with that of a corresponding unscreened cable (see 2.1.1.3.3).....	69
Figure 6 – Geometric factor \bar{G} for obtaining the thermal resistances of the filling material between the sheaths and armour of SL and SA type cables (see 2.1.2.2)	71
Figure 7a – Heat dissipation coefficient for black surfaces of cables in free air	73
Figure 7b – Heat dissipation coefficient for black surfaces of cables in free air	75
Figure 7c – Heat dissipation coefficient for black surfaces of cables in free air	77
Figure 8 – Graph for the calculation of external thermal resistance of cables in air	79
Table 1 – Thermal resistivities of materials	55
Table 2 – Values for constants Z , E and g for black surfaces of cables in free air	57
Table 3 – Absorption coefficient of solar radiation for cable surfaces	59
Table 4 – Values of constants U , V and Y	59

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**CÂBLES ÉLECTRIQUES –
CALCUL DU COURANT ADMISSIBLE –****Partie 2-1: Résistance thermique – Calcul de la résistance thermique****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 60287-2-1 a été établie par le sous-comité 20A: Câbles de haute tension, du comité d'études 20 de la CEI: Câbles électriques.

Cette première édition de la CEI 60287-2-1 annule et remplace la section trois ainsi que les annexes C et D de la deuxième édition de la CEI 60287 parue en 1982, sans changement technique.

La CEI 60287-1-1 remplace les sections un et deux de la deuxième édition de la CEI 60287; la CEI 60287-3-1 remplace les annexes A et B de la deuxième édition de la CEI 60287.

La présente version consolidée de la CEI 60287-2-1 comprend la première édition (1994) [documents 20A(BC)75 et 20A(BC)81], son amendement 1 (2001) [documents 20A/478/FDIS et 20A/484/RVD] et son amendement 2 (2006) [documents 20/779/CDV et 20/809RVC].

Le contenu technique de cette version consolidée est donc identique à celui de l'édition de base et à ses amendements; cette version a été préparée par commodité pour l'utilisateur.

Elle porte le numéro d'édition 1.2.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**ELECTRIC CABLES –
CALCULATION OF THE CURRENT RATING –**

Part 2-1: Thermal resistance – Calculation of thermal resistance

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 60287-2-1 has been prepared by subcommittee 20A: High-voltage cables, of IEC technical committee 20: Electric cables.

This first edition of 60287-2-1 cancels and replaces section three, and annexes C and D of the second edition of IEC 60287 published in 1982, without technical changes.

IEC 60287-1-1 replaces sections one and two of the second edition of IEC 60287; IEC 60287-3-1 replaces annexes A and B of the second edition of IEC 60287.

This consolidated version of IEC 60287-2-1 consists of the first edition (1994) [documents 20A(CO)75 and 20A(CO)81], its amendment 1 (2001) [documents 20A/478/FDIS and 20A/484/RVD] and its amendment 2 (2006) [documents 20/779/CDV and 20/809/RVC].

The technical content is therefore identical to the base edition and its amendments and has been prepared for user convenience.

It bears the edition number 1.2.

Une ligne verticale dans la marge indique où la publication de base a été modifiée par les amendements 1 et 2.

Le comité a décidé que le contenu de la publication de base et de ses amendements 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.

A vertical line in the margin shows where the base publication has been modified by amendments 1 and 2.

The committee has decided that the contents of the base publication and its amendments 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

La CEI 60287 a été divisée en trois parties et diverses sections de manière à faciliter les révisions et les adjonctions.

Chaque partie est divisée en sections qui sont publiées en tant que normes séparées.

Partie 1: Equations de l'intensité du courant admissible (facteur de charge 100 %) et calcul des pertes

Partie 2: Résistance thermique

Partie 3: Sections concernant les conditions de fonctionnement

La présente section de la CEI 60287-2 contient des méthodes de calcul de la résistance thermique interne des câbles, et de la résistance thermique externe des câbles posés à l'air libre, des câbles enterrés et des canaux.

Les formules de cette norme contiennent des paramètres variant avec la spécification du câble et les matériaux utilisés. Les valeurs données dans les tableaux sont soit approuvées internationalement, comme les résistivités électriques et la constante diélectrique des matériaux, ou bien généralement acceptées dans la pratique, comme les résistivités thermiques et les permittivités des matériaux. Certaines des valeurs de la dernière catégorie ne sont pas caractéristiques de la qualité des câbles neufs mais de celles des câbles ayant déjà subi une longue période d'utilisation. Dans le but d'obtenir des résultats comparables et reproductibles, les régimes permanents doivent être calculés avec les valeurs indiquées dans la présente norme. Toutefois, lorsqu'on sait avec certitude que d'autres valeurs sont plus appropriées aux matériaux et à leur mise en œuvre, ces dernières peuvent alors être utilisées en déclarant le régime permanent correspondant, pourvu que les différentes valeurs soient indiquées.

Les données relatives aux conditions de service sont susceptibles de varier considérablement d'un pays à l'autre. Par exemple, pour ce qui est de la température ambiante et de la résistance thermique du sol, les valeurs sont régies dans les différents pays par diverses considérations. Une comparaison hâtive entre les valeurs utilisées dans les différents pays peut amener des conclusions erronées, si elle n'est pas faite sur des bases communes; par exemple, on peut compter sur des espérances de vie du câble différentes; de même, dans certains pays, la spécification est établie sur la valeur maximale de la résistance thermique du sol, tandis que dans d'autres c'est la valeur moyenne qui est utilisée. En particulier, dans le cas de la résistivité thermique du sol, il est bien connu que celle-ci est très sensible au taux d'humidité et peut varier sensiblement dans le temps suivant le type de sol, les conditions topographiques et météorologiques et la charge du câble.

Le choix des valeurs des différents paramètres sera dès lors effectué de la façon suivante:

Les valeurs numériques devront, de préférence, être basées sur des résultats de mesures valables. De tels résultats sont déjà souvent inclus dans les spécifications nationales sous forme de valeurs recommandées, de telle sorte que le calcul peut être exécuté sur la base de ces valeurs, généralement utilisées dans le pays en question; un examen de ces valeurs est fait dans la Partie 3, Section 1.

On trouvera un choix d'informations nécessaires pour sélectionner le type de câble approprié dans la Partie 3, Section 1.

INTRODUCTION

IEC 60287 has been divided into three parts and sections so that revisions of, and additions to, the document can be carried out more conveniently.

Each part is divided into sections which are published as separate standards.

Part 1: Formulae of ratings and power losses

Part 2: Formulae for thermal resistance

Part 3: Sections on operating conditions

This section of IEC 60287-2 contains methods for calculating the internal thermal resistance of cables and the external thermal resistance for cables laid in free air, ducts and buried.

The formulae in this standard contain quantities which vary with cable design and materials used. The values given in the tables are either internationally agreed, for example, electrical resistivities and resistance temperature coefficients, or are those which are generally accepted in practice, for example, thermal resistivities and permittivities of materials. In this latter category, some of the values given are not characteristic of the quality of new cables but are considered to apply to cables after a long period of use. In order that uniform and comparable results may be obtained, the current ratings should be calculated with the values given in this standard. However, where it is known with certainty that other values are more appropriate to the materials and design, then these may be used, and the corresponding current rating declared in addition, provided that the different values are quoted.

Quantities related to the operating conditions of cables are liable to vary considerably from one country to another. For instance, with respect to the ambient temperature and soil thermal resistivity, the values are governed in various countries by different considerations. Superficial comparisons between the values used in the various countries may lead to erroneous conclusions if they are not based on common criteria: for example, there may be different expectations for the life of the cables, and in some countries design is based on maximum values of soil thermal resistivity, whereas in others average values are used. Particularly, in the case of soil thermal resistivity, it is well known that this quantity is very sensitive to soil moisture content and may vary significantly with time, depending on the soil type, the topographical and meteorological conditions, and the cable loading.

The following procedure for choosing the values for the various parameters should, therefore, be adopted:

Numerical values should preferably be based on results of suitable measurements. Often such results are already included in national specifications as recommended values, so that the calculation may be based on these values generally used in the country in question; a survey of such values is given in Part 3, Section 1.

A suggested list of the information required to select the appropriate type of cable is given in Part 3, Section 1.

CÂBLES ÉLECTRIQUES – CALCUL DU COURANT ADMISSIBLE –

Partie 2-1: Résistance thermique – Calcul de la résistance thermique

1 Généralités

1.1 Domaine d'application

La présente section de la CEI 60287 s'applique uniquement au fonctionnement en régime permanent des câbles de toutes tensions alternatives et de tensions continues jusqu'à 5 kV, enterrés directement dans le sol, placés dans des fourreaux, caniveaux ou tubes d'acier, avec ou sans assèchement partiel du sol, ainsi que les câbles posés à l'air libre. On entend par «régime permanent» la circulation continue d'un courant constant (facteur de charge 100 %) juste suffisant pour atteindre asymptotiquement la température maximale de l'âme en supposant que les conditions du milieu ambiant restent inchangées.

Cette section fournit des formules pour la résistance thermique.

Les formules proposées sont essentiellement littérales et laissent en principe libre le choix de certains paramètres importants. Ceux-ci peuvent être divisés en trois groupes:

- les paramètres liés à la constitution du câble (par exemple résistance thermique de l'isolant) pour lesquels des valeurs représentatives ont été recueillies, à partir des travaux publiés;
- les paramètres liés aux conditions du milieu, qui peuvent varier considérablement; le choix de ceux-ci dépend du pays où les câbles sont ou doivent être utilisés;
- les paramètres résultant d'un accord entre fabricant et utilisateur et qui supposent une marge de sécurité en service (par exemple température maximale du conducteur).

ELECTRIC CABLES – CALCULATION OF THE CURRENT RATING –

Part 2-1: Thermal resistance – Calculation of thermal resistance

1 General

1.1 Scope

This section of IEC 60287 is solely applicable to the conditions of steady-state operation of cables at all alternating voltages, and direct voltages up to 5 kV, buried directly in the ground, in ducts, in troughs or in steel pipes, both with and without partial drying-out of the soil, as well as cables in air. The term "steady state" is intended to mean a continuous constant current (100 % load factor) just sufficient to produce asymptotically the maximum conductor temperature, the surrounding ambient conditions being assumed constant.

This section provides formulae for thermal resistance.

The formulae given are essentially literal and designedly leave open the selection of certain important parameters. These may be divided into three groups:

- parameters related to construction of a cable (for example, thermal resistivity of insulating material) for which representative values have been selected based on published work;
- parameters related to the surrounding conditions which may vary widely, the selection of which depends on the country in which the cables are used or are to be used;
- parameters which result from an agreement between manufacturer and user and which involve a margin for security of service (for example, maximum conductor temperature).