

**NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD**

**CEI  
IEC  
287-2-1**

Première édition  
First edition  
1994-12

---

---

**Câbles électriques –  
Calcul du courant admissible –**

**Partie 2:  
Résistance thermique –  
Section 1: Calcul de la résistance thermique**

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

**Part 2:  
Thermal resistance –  
Section 1: Calculation of thermal resistance**

© CEI 1994 Droits de reproduction réservés — Copyright — all rights reserved

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

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

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale 3, rue de Varembe Genève, Suisse

---

---



Commission Electrotechnique Internationale  
International Electrotechnical Commission  
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX  
PRICE CODE

**V**

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

## SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS .....	4
INTRODUCTION .....	6
<b>Articles</b>	
<b>1 Généralités .....</b>	<b>8</b>
1.1 Domaine d'application .....	8
1.2 Symboles .....	8
<b>2 Calcul des résistances thermiques .....</b>	<b>14</b>
2.1 Résistances thermiques des constituants des câbles, $T_1$ , $T_2$ et $T_3$ .....	14
2.1.1 Résistance thermique entre âme et gaine $T_1$ .....	14
2.1.2 Résistance thermique entre gaine et armure $T_2$ .....	20
2.1.3 Résistance thermique du revêtement externe $T_3$ .....	22
2.1.4 Cas des câbles en tuyau .....	22
2.2 Résistance thermique extérieure $T_4$ .....	24
2.2.1 Câbles posés à l'air libre .....	24
2.2.2 Un seul câble enterré .....	26
2.2.3 Groupe de câbles enterrés (non jointifs) .....	26
2.2.4 Groupe de câbles enterrés (jointifs) uniformément chargés .....	32
2.2.5 Tuyaux enterrés .....	34
2.2.6 Câbles en caniveaux enterrés .....	34
2.2.7 Câbles en fourreaux ou en tuyaux .....	36
<b>3 Calcul numérique des quantités indiquées sous forme de graphique .....</b>	<b>40</b>
3.1 Généralités .....	40
3.1.1 Facteur géométrique $G$ pour les câbles bipolaires à ceinture à âmes circulaires (figure 2) .....	40
3.1.2 Facteur géométrique $G$ pour les câbles tripolaires à ceinture à âmes circulaires (figure 3) .....	42
3.1.3 Résistance thermique des câbles tripolaires métallisés à ceinture à âmes circulaires rapportée à celle des câbles correspondants non métallisés (figure 4) .....	44
3.1.4 Résistance thermique des câbles tripolaires métallisés à âmes sectoriales rapportée à celle des câbles analogues non métallisés (figure 5) .....	44
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) .....	46
3.2 Calcul graphique de $\Delta\theta_s$ (figure 8) .....	46
Tableaux .....	50
Figures .....	56

## CONTENTS

	Page
FOREWORD .....	5
INTRODUCTION .....	7
Clause	
1 General .....	9
1.1 Scope .....	9
1.2 Symbols .....	9
2 Calculation of thermal resistances .....	15
2.1 Thermal resistances of the constituent parts of a cable, $T_1$ , $T_2$ and $T_3$ .....	15
2.1.1 Thermal resistance between one conductor and sheath $T_1$ .....	15
2.1.2 Thermal resistance between sheath and armour $T_2$ .....	21
2.1.3 Thermal resistance of outer covering (serving) $T_3$ .....	23
2.1.4 Pipe-type cables .....	23
2.2 External thermal resistance $T_4$ .....	25
2.2.1 Cables laid in free air .....	25
2.2.2 Single isolated buried cable .....	27
2.2.3 Groups of buried cables (not touching) .....	27
2.2.4 Groups of buried cables (touching) equally loaded .....	33
2.2.5 Buried pipes .....	35
2.2.6 Cables in buried troughs .....	35
2.2.7 Cables in ducts or pipes .....	37
3 Digital calculation of quantities given graphically .....	41
3.1 General .....	41
3.1.1 Geometric factor $G$ for two-core belted cables with circular conductors (figure 2) .....	41
3.1.2 Geometric factor $G$ for three-core belted cables with circular conductors (figure 3) .....	43
3.1.3 Thermal resistance of three-core screened cables with circular conductors compared to that of a corresponding unscreened cable (figure 4) .....	45
3.1.4 Thermal resistance of three-core screened cables with sector-shaped conductors compared to that of a corresponding unscreened cable (figure 5) .....	45
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) .....	47
3.2 Calculation of $\Delta\theta_s$ by means of a diagram (figure 8) .....	47
Tables .....	51
Figures .....	56

# COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

## CÂBLES ÉLECTRIQUES – CALCUL DU COURANT ADMISSIBLE – Partie 2: Résistance thermique – Section 1: Calcul de la résistance thermique

### AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique 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 en ce qui concerne les questions techniques, préparés par les comités d'études où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 3) Ces décisions constituent des recommandations internationales publiées sous forme de normes, de rapports techniques ou de guides et agréées comme telles 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.

La Norme internationale CEI 287-2-1 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 287-2-1 annule et remplace la section trois ainsi que les annexes C et D de la deuxième édition de la CEI 287 parue en 1982, sans changement technique.

La CEI 287-1-1 remplace les sections un et deux de la deuxième édition de la CEI 287; la CEI 287-3-1 remplace les annexes A et B de la deuxième édition de la CEI 287.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

Règle des Six Mois	Rapport de vote
20A(BC)75	20A(BC)81

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

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**ELECTRIC CABLES –  
CALCULATION OF THE CURRENT RATING –  
Part 2: Thermal resistance –  
Section 1: Calculation of thermal resistance**

## 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 cooperation 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, prepared by technical committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 3) They have the form of recommendations for international use published in the form of standards, 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.

International Standard IEC 287-2-1 has been prepared by sub-committee 20A: High-voltage cables, of IEC technical committee 20: Electric cables.

This first edition of 287-2-1 cancels and replaces section three, and annexes C and D of the second edition of IEC 287 published in 1982, without technical changes.

IEC 287-1-1 replaces sections one and two of the second edition of IEC 287; IEC 287-3-1 replaces annexes A and B of the second edition of IEC 287.

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

Six Months' Rule	Report on voting
20A(CO)75	20A(CO)81

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

## INTRODUCTION

La CEI 287 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 287-2 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 oeuvre, 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 287 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 287-2 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: Résistance thermique –  
Section 1: Calcul de la résistance thermique**

## **1 Généralités**

### **1.1 *Domaine d'application***

La présente section de la CEI 287 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: Thermal resistance –  
Section 1: Calculation of thermal resistance**

**1 General**

**1.1 Scope**

This section of IEC 287 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).