

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
287-1-1**

Première édition
First edition
1994-12

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

Partie 1:

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

Section 1: Généralités

Electric cables –

Calculation of the current rating –

Part 1:

Current rating equations (100 % load factor)
and calculation of losses –

Section 1: General

© 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

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	6
INTRODUCTION	8
 Articles	
1 Généralités	10
1.1 Domaine d'application	10
1.2 Références normatives	10
1.3 Symboles	12
1.4 Evaluation de l'intensité admissible du courant dans les câbles	18
1.4.1 Câbles enterrés dans le cas où il n'y a pas d'assèchement du sol ou câbles posés à l'air libre	18
1.4.2 Câbles enterrés dans le cas où se produit un assèchement partiel du sol	20
1.4.3 Câbles enterrés dans le cas où un assèchement du sol est à éviter	24
1.4.4 Câbles directement exposés au rayonnement solaire	24
2 Calcul des pertes	26
2.1 Résistance de l'âme en courant alternatif	26
2.1.1 Résistance de l'âme en courant continu	26
2.1.2 Facteur d'effet de peau y_s	28
2.1.3 Facteur d'effet de proximité y_p dans le cas de câbles bipolaires ou de deux câbles unipolaires	28
2.1.4 Facteur d'effet de proximité y_p dans le cas de câbles tripolaires ou de trois câbles unipolaires	28
2.1.5 Effets de peau et de proximité dans le cas des câbles en tuyau d'acier	30
2.2 Pertes diélectriques (applicable uniquement aux câbles à courant alternatif)	30
2.3 Facteur de pertes dans les gaines ou les écrans (applicable uniquement aux câbles à courant alternatif à fréquence industrielle)	32
2.3.1 Deux câbles unipolaires et trois câbles unipolaires (disposés en trèfle), avec gaines court-circuitées aux deux extrémités d'une section électrique ...	34
2.3.2 Trois câbles unipolaires disposés en nappe, régulièrement transposés, avec gaines court-circuitées aux deux extrémités d'une section électrique ...	34
2.3.3 Trois câbles unipolaires disposés en nappe, non transposés, avec gaines court-circuitées aux deux extrémités d'une section électrique ...	36
2.3.4 Variation de l'écartement des câbles unipolaires entre les points où les gaines sont court-circuitées	36
2.3.5 Influence des grosses âmes segmentées	38

CONTENTS

	Page
FOREWORD	7
INTRODUCTION	9
 Clause	
1 General	11
1.1 Scope	11
1.2 Normative references	11
1.3 Symbols	13
1.4 Permissible current rating of cables	19
1.4.1 Buried cables where drying-out of the soil does not occur or cables in air	19
1.4.2 Buried cables where partial drying-out of the soil occurs	21
1.4.3 Buried cables where drying-out of the soil is to be avoided	25
1.4.4 Cables directly exposed to solar radiation	25
2 Calculation of losses	27
2.1 AC resistance of conductor	27
2.1.1 DC resistance of conductor	27
2.1.2 Skin effect factor y_s	29
2.1.3 Proximity effect factor y_p for two-core cables and for two single- core cables	29
2.1.4 Proximity effect factor y_p for three-core cables and for three single- core cables	29
2.1.5 Skin and proximity effects in pipe-type cables	31
2.2 Dielectric losses (applicable to a.c. cables only)	31
2.3 Loss factor for sheath and screen (applicable to power frequency a.c. cables only)	33
2.3.1 Two single-core cables, and three single-core cables (in trefoil formation), sheaths bonded at both ends of an electrical section	35
2.3.2 Three single-core cables in flat formation, with regular transposition, sheaths bonded at both ends of an electrical section	35
2.3.3 Three single-core cables in flat formation, without transposition, sheaths bonded at both ends of an electrical section	37
2.3.4 Variation of spacing of single-core cables between sheath bonding points	37
2.3.5 Effect of large segmental type conductors	39

Articles	Pages
2.3.6 Câbles unipolaires avec gaines court-circuitées en un seul point ou permutées	40
2.3.7 Câbles bipolaires non armés sous gaine commune	44
2.3.8 Câbles tripolaires non armés sous gaine commune	46
2.3.9 Câbles bipolaires et tripolaires armés de feuillards d'acier	46
2.3.10 Câbles triplombs armés	48
2.3.11 Pertes dans les écrans et les gaines de câbles en tuyau d'acier	48
2.4 Facteur de pertes dans les armures, les frettages et les tuyaux d'acier (applicable uniquement aux câbles à courant alternatif à fréquence industrielle)	48
2.4.1 Armure ou frettage non magnétique	50
2.4.2 Armure ou frettage magnétique	50
2.4.3 Pertes dans les tuyaux d'acier	58
Tableaux	60

Withdrawing

Clause	Page
2.3.6 Single-core cables, with sheaths bonded at a single point or cross-bonded	41
2.3.7 Two-core unarmoured cables with common sheath	45
2.3.8 Three-core unarmoured cables with common sheath	47
2.3.9 Two-core and three-core cables with steel tape armour	47
2.3.10 Cables with each core in a separate lead sheath (SL type) and armoured	49
2.3.11 Losses in screen and sheaths of pipe-type cables	49
2.4 Loss factor for armour, reinforcement and steel pipes (applicable to power frequency a.c. cables only)	49
2.4.1 Non-magnetic armour or reinforcement	51
2.4.2 Magnetic armour or reinforcement	51
2.4.3 Losses in steel pipes	59
Tables	61

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

CÂBLES ÉLECTRIQUES – CALCUL DU COURANT ADMISSIBLE –

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

Section 1: Généralités

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 287-1-1 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 287-1-1 annule et remplace les sections un et deux de la deuxième édition de la CEI 287 parue en 1982 et la partie appropriée de l'amendement 3, sans changement technique.

La CEI 287-2-1 remplace la section trois et les annexes C et D 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 1: Current rating equations (100 % load factor)
and calculation of losses –
Section 1: General

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

This first edition of 287-1-1 cancels and replaces sections one and two of the second edition of IEC 287 published in 1982 and the appropriate part of amendment 3, without technical changes.

IEC 287-2-1 replaces section three and annexes C and D 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 partie 1 – Section 1: Généralités, contient des formules relatives aux quantités R , W_d , λ_1 et λ_2 .

La présente section contient des méthodes pour le calcul du courant admissible à partir des détails de l'accroissement admissible de la température de la résistance des conducteurs, des pertes et de la résistivité thermique.

Des formules pour le calcul des pertes se trouvent aussi dans cette section.

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 celle 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 for ratings (100 % load factor) and power losses

Part 2: Formulae for thermal resistance

Part 3: Sections on operating conditions

Part 1 – Section 1: General, contains formulae for the quantities R , W_d , λ_1 and λ_2 .

This section contains methods for calculating the permissible current rating of cables from details of the permissible temperature rise, conductor resistance, losses and thermal resistivities.

Formulae for the calculation of losses are also given in this section.

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

Section 1: Généralités

1 Généralités

1.1 Domaine d'application

La présente section de la CEI 287 concerne uniquement le 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 l'intensité du courant et les pertes.

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).

1.2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente section de la CEI 287-1. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Tout document normatif est sujet à révision et les parties prenantes aux accords fondés sur la présente section de la CEI 287-1 sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 27: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*

CEI 28: 1925, *Spécification internationale d'un cuivre-type recuit*

CEI 141: *Essais de câbles à huile fluide, à pression de gaz et de leurs dispositifs accessoires*

CEI 183: 1984, *Guide pour le choix des câbles à haute tension*

CEI 228: 1978, *Ames des câbles isolés* Amendement n° 1 (1993)

CEI 228A: 1982, *Premier complément – Guide pour les limites dimensionnelles des âmes circulaires*

CEI 502: 1983, *Câbles de transport d'énergie isolés par diélectriques massifs extrudés pour des tensions assignées de 1 kV à 30 kV*

CEI 889: 1987, *Fils d'aluminium écroui dur pour conducteurs de lignes aériennes*

ELECTRIC CABLES –
CALCULATION OF THE CURRENT RATING –
Part 1: Current rating equations (100 % load factor)
and calculation of losses –
Section 1: General

1 General

1.1 Scope

This section of IEC 287 is 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, 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 current ratings and losses.

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).

1.2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this section of IEC 287-1. At the time of publication, the editions indicated were valid. All normative documents are subject to revision, and parties to agreements based on this section of IEC 287-1 are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 27: *Letter symbols to be used in electrical technology*

IEC 28: 1925, *International standard of resistance for copper*

IEC 141: *Tests on oil-filled and gas-pressure cables and their accessories*

IEC 183: 1984, *Guide to the selection of high-voltage cables*

IEC 228: 1978, *Conductors of insulated cables* Amendment No. 1 (1993)

IEC 228A: 1982, *First supplement – Guide to the dimensional limits of circular conductors*

IEC 502: 1983, *Extruded solid dielectric insulated power cables for rated voltages from 1 kV up to 30 kV*

IEC 889: 1987, *Hard-drawn aluminium wire for overhead line conductors*