

**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



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 287-1-1: 1994

Validité de la présente publication

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 la date de reconfirmation de la publication sont disponibles auprès du Bureau Central de la CEI.

Les renseignements relatifs à ces révisions, à l'établissement des éditions révisées et aux amendements peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et dans les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la CEI**
- **Annuaire de la CEI**
Publié annuellement
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement

Terminologie

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 50: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI), qui se présente sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini. Des détails complets sur le VEI peuvent être obtenus sur demande. Voir également le dictionnaire multilingue de la CEI.

Les termes et définitions figurant dans la présente publication ont été soit tirés du VEI, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Symboles graphiques et littéraux

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera:

- la CEI 27: *Symboles littéraux à utiliser en électro-technique;*
- la CEI 417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles;*
- la CEI 617: *Symboles graphiques pour schémas;*

et pour les appareils électromédicaux,

- la CEI 878: *Symboles graphiques pour équipements électriques en pratique médicale.*

Les symboles et signes contenus dans la présente publication ont été soit tirés de la CEI 27, de la CEI 417, de la CEI 617 et/ou de la CEI 878, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Publications de la CEI établies par le même comité d'études

L'attention du lecteur est attirée sur les listes figurant à la fin de cette publication, qui énumèrent les publications de la CEI préparées par le comité d'études qui a établi la présente publication.

Validity of this publication

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 the date of the reconfirmation of the publication is available from the IEC Central Office.

Information on the revision work, the issue of revised editions and amendments may be obtained from IEC National Committees and from the following IEC sources:

- **IEC Bulletin**
- **IEC Yearbook**
Published yearly
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates

Terminology

For general terminology, readers are referred to IEC 50: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV), which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field. Full details of the IEV will be supplied on request. See also the IEC Multilingual Dictionary.

The terms and definitions contained in the present publication have either been taken from the IEV or have been specifically approved for the purpose of this publication.

Graphical and letter symbols

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications:

- IEC 27: *Letter symbols to be used in electrical technology;*
- IEC 417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets;*
- IEC 617: *Graphical symbols for diagrams;*

and for medical electrical equipment,

- IEC 878: *Graphical symbols for electromedical equipment in medical practice.*

The symbols and signs contained in the present publication have either been taken from IEC 27, IEC 417, IEC 617 and/or IEC 878, or have been specifically approved for the purpose of this publication.

IEC publications prepared by the same technical committee

The attention of readers is drawn to the end pages of this publication which list the IEC publications issued by the technical committee which has prepared the present publication.

**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 pro-
cédé, 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

AVA Documents
Document Sharing Hub

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

Withdrawn

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*

1.3 Symboles

Les symboles utilisés dans la présente norme et les grandeurs qu'ils représentent sont donnés dans la liste suivante:

A	section droite de l'armure	mm ²
B_1	coefficients (voir 2.4.2)	
B_2		
C	capacité par phase	F/m
D_e^*	diamètre extérieur du câble	m
D_i	diamètre sur isolant	mm
D_s	diamètre extérieur de la gaine métallique	mm
D_{oc}	diamètre du cylindre imaginaire coaxial à la gaine ondulée et tangent à la surface extérieure des crêtes	mm
D_{it}	diamètre du cylindre imaginaire coaxial à la gaine ondulée et tangent à la surface intérieure des creux	mm
F	coefficient défini en 2.3.5	
H	intensité des radiations solaires	W/m ²
H	force magnétisante (voir 2.4.2)	ampère-tours/m
H_s	inductance de la gaine	H/m
H_1	composants de l'inductance due aux fils d'acier (voir 2.4.2)	H/m
H_2		
H_3		
I	intensité du courant dans une âme (valeur efficace)	A
M	coefficients définis en 2.3.5	
N		
P	coefficients définis en 2.3.3	Ω/m
Q		
R	résistance électrique de l'âme en courant alternatif à sa température maximale de service	Ω/m
R_A	résistance de l'armure en courant alternatif	Ω/m
R_e	résistance équivalente en courant alternatif de la gaine et de l'armure en parallèle	Ω/m
R_s	résistance de la gaine en courant alternatif	Ω/m
R'	résistance électrique de l'âme en courant continu à la température maximale de service	Ω/m
R_0	résistance électrique de l'âme en courant continu à 20 °C	Ω/m
T_1	résistance thermique par phase entre âme et gaine métallique ou écran	K.m/W
T_2	résistance thermique entre gaine métallique ou écran et armure	K.m/W
T_3	résistance thermique du revêtement	K.m/W
T_4	résistance thermique du milieu extérieur (rapport de l'échauffement de la surface du câble au-dessus de l'ambiante aux pertes totales par unité de longueur)	K.m/W
T_4^*	résistance thermique du milieu extérieur à l'air libre tenant compte du rayonnement solaire	K.m/W
U_0	tension entre âme et écran ou gaine	V

1.3 Symbols

The symbols used in this standard and the quantities which they represent are given in the following list:

A	cross-sectional area of the armour	mm ²
B_1	coefficients (see 2.4.2)	
B_2		
C	capacitance per core	F/m
D_e^*	external diameter of cable	m
D_i	diameter over insulation	mm
D_s	external diameter of metal sheath	mm
D_{oc}	the diameter of the imaginary coaxial cylinder which just touches the crests of a corrugated sheath	mm
D_{it}	the diameter of the imaginary cylinder which just touches the inside surface of the troughs of a corrugated sheath	mm
F	coefficient defined in 2.3.5	
H	intensity of solar radiation	W/m ²
H	magnetizing force (see 2.4.2)	ampere turns/m
H_s	inductance of sheath	H/m
H_1	components of inductance due to the steel wires (see 2.4.2)	H/m
H_2		
H_3		
I	current in one conductor (r.m.s. value)	A
M	coefficients defined in 2.3.5	
N		
P	coefficients defined in 2.3.3	Ω/m
Q		
R	alternating current resistance of conductor at its maximum operating temperature	Ω/m
R_A	a.c. resistance of armour	Ω/m
R_e	equivalent a.c. resistance of sheath and armour in parallel	Ω/m
R_s	a.c. resistance of sheath	Ω/m
R'	d.c. resistance of conductor at maximum operating temperature	Ω/m
R_0	d.c. resistance of conductor at 20 °C	Ω/m
T_1	thermal resistance per core between conductor and sheath	K.m/W
T_2	thermal resistance between sheath and armour	K.m/W
T_3	thermal resistance of external serving	K.m/W
T_4	thermal resistance of surrounding medium (ratio of cable surface temperature rise above ambient to the losses per unit length)	K.m/W
T_4^*	external thermal resistance in free air, adjusted for solar radiation	K.m/W
U_0	voltage between conductor and screen or sheath	V

W_A	pertes dissipées dans l'armure par unité de longueur	W/m
W_C	pertes dissipées dans l'âme par unité de longueur	W/m
W_d	pertes diélectriques par unité de longueur et par phase	W/m
W_s	pertes dissipées dans la gaine par unité de longueur	W/m
$W_{(s+A)}$	pertes totales dissipées dans la gaine et l'armure par unité de longueur	W/m
X	réactance de la gaine quand les câbles sont bipolaires ou tripolaires (en trèfle)	Ω/m
X_1	réactance de la gaine quand les câbles sont disposés en nappe	Ω/m
X_m	réactance mutuelle entre la gaine d'un câble et les âmes des deux autres lorsque les câbles sont posés en nappe	Ω/m
a	plus petite longueur d'une section électrique à permutation d'écran ayant des longueurs différentes	
c	distance entre les axes des âmes et l'axe du câble quand les câbles sont tripolaires ($=0,55 r_1 + 0,29 t$ pour les âmes sectoriales)	mm
d	diamètre moyen de la gaine ou de l'écran	mm
d'	diamètre moyen de la gaine et du frettage	mm
d_2	diamètre moyen du frettage	mm
d_A	diamètre moyen de l'armure	mm
d_c	diamètre extérieur de l'âme	mm
d'_c	diamètre extérieur de l'âme massive ronde, ayant le même canal central qu'une âme creuse	mm
d_d	diamètre intérieur du tuyau	mm
d_f	diamètre d'un fil d'acier	mm
d_i	diamètre intérieur d'une âme creuse	mm
d_M	plus grand diamètre d'écran ou de gaine d'une âme ovale	mm
d_m	plus petit diamètre d'écran ou de gaine d'une âme ovale	mm
d_x	diamètre d'une âme circulaire équivalente ayant la même section et le même degré de rétreint que l'âme sectoriale	mm
f	fréquence du réseau	Hz
g_s	coefficient utilisé en 2.3.6.1	
k	facteur utilisé pour le calcul des pertes par hystérésis dans les armures ou frettages (voir 2.4.2.4)	
k_p	facteur utilisé dans le calcul de x_p (effet de proximité)	
k_s	facteur utilisé dans le calcul de x_s (effet de peau)	
l	longueur d'une section de câble (symbole général, voir article 2.3 et 2.3.4)	m
$\ln$	logarithme naturel (logarithme en base e)	
m	$\frac{\omega}{R_s} 10^{-7}$	
n	nombre d'âmes dans un câble	
n_1	nombre de fils d'acier dans un câble (voir 2.4.2)	

W_A	losses in armour per unit length	W/m
W_c	losses in conductor per unit length	W/m
W_d	dielectric losses per unit length per phase	W/m
W_s	losses dissipated in sheath per unit length	W/m
$W_{(s+A)}$	total losses in sheath and armour per unit length	W/m
X	reactance of sheath (two-core cables and three-core cables in trefoil)	Ω/m
X_1	reactance of sheath (cables in flat formation)	Ω/m
X_m	mutual reactance between the sheath of one cable and the conductors of the other two when cables are in flat information	Ω/m
a	shortest minor length in a cross-bonded electrical section having unequal minor lengths	
c	distance between the axes of conductors and the axis of the cable for three-core cables ($=0,55 r_1 + 0,29 t$ for sector-shaped conductors)	mm
d	mean diameter of sheath or screen	mm
d'	mean diameter of sheath and reinforcement	mm
d_2	mean diameter of reinforcement	mm
d_A	mean diameter of armour	mm
d_c	external diameter of conductor	mm
d'_c	external diameter of equivalent round solid conductor having the same central duct as a hollow conductor	mm
d_d	internal diameter of pipe	mm
d_f	diameter of a steel wire	mm
d_i	internal diameter of hollow conductor	mm
d_M	major diameter of screen or sheath of an oval conductor	mm
d_m	minor diameter of screen or sheath of an oval conductor	mm
d_x	diameter of an equivalent circular conductor having the same cross-sectional area and degree of compactness as the shaped one	mm
f	system frequency	Hz
g_s	coefficient used in 2.3.6.1	
k	factor used in the calculation of hysteresis losses in armour or reinforcement (see 2.4.2.4)	
k_p	factor used in calculating x_p (proximity effect)	
k_s	factor used in calculating x_s (skin effect)	
l	length of a cable section (general symbol, see clause 2.3 and 2.3.4)	m
$\ln$	natural logarithm (logarithm to base e)	
m	$\frac{\omega}{R_s} 10^{-7}$	
n	number of conductors in a cable	
n_1	number of steel wires in a cable (see 2.4.2)	

p	pas d'assemblage d'un fil d'acier sur un câble (voir 2.4.2)	
$\left. \begin{matrix} p \\ q \end{matrix} \right\}$	coefficients utilisés en 2.3.6.2	
r_1	rayon du cercle circonscrit aux deux ou trois âmes sectoriales dans un câble bipolaire ou tripolaire	mm
s	distance entre axes et âmes	mm
s_1	distance entre axes de deux câbles adjacents dans une nappe horizontale de trois câbles non jointifs	mm
s_2	séparation axiale des câbles (voir 2.4.2)	mm
t	épaisseur d'isolant entre âmes	mm
t_3	épaisseur du revêtement externe	mm
t_s	épaisseur de la gaine	mm
v	rapport des résistivités thermiques des zones de sol sec et humide ($v = \rho_d / \rho_w$)	
x_p	argument de la fonction de Bessel, utilisé dans le calcul de l'effet de proximité	
x_s	argument de la fonction de Bessel, utilisé dans le calcul de l'effet de peau	
y_p	facteur d'effet de proximité	(voir 2.1)
y_s	facteur d'effet de peau	
α_{20}	coefficient de variation de la résistance électrique avec la température à 20 °C, par kelvin	I/K
β	angle formé par l'axe d'un fil d'armure et l'axe du câble (voir 2.4.2)	
β_1	coefficient utilisé en 2.3.6.1	
γ	déphasage (voir 2.4.2)	
$\left. \begin{matrix} \Delta_1 \\ \Delta_2 \end{matrix} \right\}$	coefficients utilisés en 2.3.6.1	
δ	épaisseur équivalente de l'armure ou du fretage	mm
$\tan \delta$	facteur de pertes de l'isolant	
ε	permittivité relative de l'isolant	
θ	température maximale de service de l'âme	°C
θ_a	température ambiante	°C
θ_x	température critique du sol et température de la frontière entre zone sèche ou zone humide	°C
$\Delta \theta$	échauffement admissible à l'âme par rapport à la température ambiante	K
$\Delta \theta_x$	échauffement critique du sol et échauffement de la frontière entre les zones sèche et humide au-dessus de la température ambiante du sol	K
λ_0	coefficient utilisé en 2.3.6.1	
λ_1, λ_2	rapport utilisé des pertes totales dans les gaines métalliques et armures respectivement aux pertes totales des âmes (ou pertes dans une gaine ou armure aux pertes dans une âme)	
λ'_1	rapport des pertes dans une gaine produites par les courants de circulation dans la gaine aux pertes dans une âme	

p	length of lay of a steel wire along a cable (see 2.4.2)	
$\left. \begin{matrix} p \\ q \end{matrix} \right\}$	coefficients used in 2.3.6.2	
r_1	circumscribing radius of two- or three-sector shaped conductors	mm
s	axial separation of conductors	mm
s_1	axial separation of two adjacent cables in a horizontal group of three, not touching	mm
s_2	axial separation of cables (see 2.4.2)	mm
t	insulation thickness between conductors	mm
t_3	thickness of the serving	mm
t_s	thickness of the sheath	mm
v	ratio of the thermal resistivities of dry and moist soils ($v = \rho_d/\rho_w$)	
x_p	argument of a Bessel function used to calculate proximity effect	
x_s	argument of a Bessel function used to calculate skin effect	
y_p	proximity effect factor	} (see 2.1)
y_s	skin effect factor	
α_{20}	temperature coefficient of electrical resistivity at 20 °C, per kelvin	I/K
β	angle between axis of armour wires and axis of cable (see 2.4.2)	
β_1	coefficient used in 2.3.6.1	
γ	angular time delay (see 2.4.2)	
$\left. \begin{matrix} \Delta_1 \\ \Delta_2 \end{matrix} \right\}$	coefficients used in 2.3.6.1	
δ	equivalent thickness of armour or reinforcement	mm
$\tan\delta$	loss factor of insulation	
ϵ	relative permittivity of insulation	
θ	maximum operating temperature of conductor	°C
θ_a	ambient temperature	°C
θ_x	critical temperature of soil; this is the temperature of the boundary between dry and moist zones	°C
$\Delta\theta$	permissible temperature rise of conductor above ambient temperature	K
$\Delta\theta_x$	critical temperature rise of soil; this is the temperature rise of the boundary between dry and moist zones above the ambient temperature of the soil	K
λ_0	coefficient used in 2.3.6.1	
λ_1, λ_2	ratio of the total losses in metallic sheaths and armour respectively to the total conductor losses (or losses in one sheath or armour to the losses in one conductor)	
λ'_1	ratio of the losses in one sheath caused by circulating currents in the sheath to the losses in one conductor	

λ_1''	rapport des pertes dans une gaine produites par les courants de Foucault aux pertes dans une âme	
λ_{1m}'	facteur de perte du câble médian	} Trois câbles posés en nappe non transposés avec gaines court-circuitées aux deux extrémités
λ_{11}'	facteur de perte du câble extérieur ayant les pertes les plus importantes	
λ_{12}'	facteur de perte du câble extérieur ayant les pertes les plus faibles	
μ	perméabilité magnétique relative du matériau constituant l'armure	
μ_e	perméabilité relative longitudinale	
μ_t	perméabilité relative transversale	
ρ	résistivité de l'âme à 20 °C	$\Omega \cdot m$
ρ_d	résistivité thermique du sol sec	$K \cdot m/W$
ρ_w	résistivité thermique du sol humide	$K \cdot m/W$
ρ_s	résistivité de la gaine à 20 °C	$\Omega \cdot m$
σ	coefficient d'absorption des rayons solaires par la surface du câble	
ω	pulsation (fréquence angulaire $2\pi f$)	

1.4 Evaluation de l'intensité admissible du courant dans les câbles

Lorsque l'intensité du courant admissible est calculée pour des conditions d'assèchement partiel du sol, il est également nécessaire de calculer une capacité de transport pour des conditions où l'assèchement du sol ne se produit pas. La plus faible des deux valeurs doit être utilisée.

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

1.4.1.1 Câbles à courant alternatif

L'intensité du courant admissible dans un câble à courant alternatif peut être déduite de l'expression donnant l'échauffement de l'âme au-dessus de la température ambiante:

$$\Delta\theta = (I^2 R + \frac{1}{2} W_d) T_1 + [I^2 R (1 + \lambda_1) + W_d] n T_2 + [I^2 R (1 + \lambda_1 + \lambda_2) + W_d] n (T_3 + T_4)$$

ou

I est l'intensité du courant circulant dans une âme (A);

$\Delta\theta$ est l'échauffement de l'âme au-dessus de la température ambiante (K);

NOTE - La température ambiante est la température du milieu environnant en régime normal à l'endroit où les câbles sont posés ou doivent être posés. Elle comprend les effets de n'importe quelle source de chaleur mais non pas l'élévation de température dans le voisinage immédiat des câbles provenant de la chaleur s'en dégageant.

R est la résistance de l'âme en courant alternatif, par unité de longueur, à sa température maximale de service (Ω/m);

W_d sont les pertes diélectriques, par unité de longueur, de l'isolant entourant l'âme (W/m);

T_1 est la résistance thermique, par unité de longueur, entre l'âme et la gaine (K.m/W);

T_2 est la résistance thermique, par unité de longueur, entre la gaine et l'armure (K.m/W);

λ_1''	ratio of the losses in one sheath caused by eddy currents to the losses in one conductor	
λ_{1m}'	loss factor for the middle cable	} Three cables in flat formation without transposition, with sheaths bonded at both ends
λ_{11}'	loss factor for the outer cable with the greater losses	
λ_{12}'	loss factor for the outer cable with the least losses	
μ	relative magnetic permeability of armour material	
μ_e	longitudinal relative permeability	
μ_t	transverse relative permeability	
ρ	conductor resistivity at 20 °C	$\Omega \cdot m$
ρ_d	thermal resistivity of dry soil	$K \cdot m/W$
ρ_w	thermal resistivity of moist soil	$K \cdot m/W$
ρ_s	sheath resistivity at 20 °C	$\Omega \cdot m$
σ	absorption coefficient of solar radiation for the cable surface	
ω	angular frequency of system ($2\pi f$)	

1.4 Permissible current rating of cables

When the permissible current rating is being calculated under conditions of partial drying out of the soil, it is also necessary to calculate a rating for conditions where drying out of the soil does not occur. The lower of the two ratings shall be used.

1.4.1 Buried cables where drying out of the soil does not occur or cables in air

1.4.1.1 AC cables

The permissible current rating of an a.c. cable can be derived from the expression for the temperature rise above ambient temperature:

$$\Delta\theta = (I^2 R + \frac{1}{2} W_d) T_1 + [I^2 R (1 + \lambda_1) + W_d] n T_2 + [I^2 R (1 + \lambda_1 + \lambda_2) + W_d] n (T_3 + T_4)$$

where

I is the current flowing in one conductor (A);

$\Delta\theta$ is the conductor temperature rise above the ambient temperature (K);

NOTE – The ambient temperature is the temperature of the surrounding medium under normal conditions, at a situation in which cables are installed, or are to be installed, including the effect of any local source of heat, but not the increase of temperature in the immediate neighbourhood of the cables due to heat arising therefrom.

R is the alternating current resistance per unit length of the conductor at maximum operating temperature (Ω/m);

W_d is the dielectric loss per unit length for the insulation surrounding the conductor (W/m);

T_1 is the thermal resistance per unit length between one conductor and the sheath ($K \cdot m/W$);

T_2 is the thermal resistance per unit length of the bedding between sheath and armour ($K \cdot m/W$);