



# INTERNATIONAL STANDARD

# NORME INTERNATIONALE

---

**Electric cables – Calculation of the current rating –  
Part 2-3: Thermal resistance – Cables installed in ventilated tunnels**

**Câbles électriques – Calcul du courant admissible –  
Partie 2-3: Résistance thermique – Câbles posés dans les tunnels ventilés**

INTERNATIONAL  
ELECTROTECHNICAL  
COMMISSION

COMMISSION  
ELECTROTECHNIQUE  
INTERNATIONALE

---

ICS 29.060.20

ISBN 978-2-8322-4221-6

**Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.  
Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.**

## CONTENTS

FOREWORD.....	4
INTRODUCTION.....	6
1 Scope.....	7
2 Normative references .....	7
3 Terms, definitions and symbols.....	7
3.1 Terms and definitions.....	7
3.2 Symbols.....	7
4 Description of method.....	9
4.1 General description.....	9
4.2 Basic formulae .....	10
4.2.1 General .....	10
4.2.2 Radial heat transfer by conduction within the cable .....	10
4.2.3 Heat transfer by radiation from the cable surface to the inner wall of the tunnel .....	11
4.2.4 Heat transfer by convection from the cable surface to the air inside the tunnel .....	11
4.2.5 Heat transfer by convection from the air inside the tunnel to the inner tunnel wall .....	12
4.2.6 Longitudinal heat transfer by convection resulting from the forced or natural flow of air along the tunnel.....	13
4.2.7 Radial heat conduction in the soil surrounding the tunnel.....	13
4.3 Set of formulae .....	14
4.4 Solving .....	14
4.5 Iterative process .....	15
5 Formulae for air properties .....	16
6 Temperature profile .....	16
Annex A (informative) Calculation example .....	17
A.1 Cable and installation .....	17
A.2 Calculated values .....	17
Annex B (informative) Delta-star transformation.....	21
Annex C (informative) Calculation of $F_m$ coefficient .....	22
C.1 Definition of spacing .....	22
C.2 Calculation of $F_m$ coefficient.....	22
Bibliography.....	24
Figure A.1 – Temperature profile along a 1 km tunnel.....	19
Figure A.2 – Temperature profile along a 10 km tunnel.....	19
Figure B.1 – Delta-star transformation .....	21
Figure C.1 – Spacing definitions .....	22
Table 1 – $F_m$ coefficient for radiation thermal resistance calculation.....	11
Table 2 – Value of parameter $K_{CV}$ .....	12
Table A.1 – Installation data .....	17

Table A.2 – Iterative process for a 1 km long tunnel.....	18
Table C.1 – Expression for $F_m$ coefficient calculation .....	22

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

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

#### **Part 2-3: Thermal resistance – Cables installed in ventilated tunnels**

#### 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 itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 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 60287-2-3 has been prepared by IEC technical committee 20: Electric cables.

The text of this International Standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
20/1707/FDIS	20/1720/RVD

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

This document has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

A list of all parts in the IEC 60287 series, published under the general title *Electric cables – Calculation of the current rating*, can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this document will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific document. At this date, the document will be

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

## INTRODUCTION

In the IEC 60287 series, IEC 60287-1 provides general formulae for ratings and power losses of electric cables.

IEC 60287-2 presents formulae or calculation methods for thermal resistances.

IEC 60287-2-1 provides calculation methods for dealing with cables installed in free air (see IEC 60287-2-1:2015,4.2.1).

IEC 60287-2-2 provides a method and data for calculating reduction factors for cables in groups running horizontally in free air.

IEC 60287-2-1 and IEC 60287-2-2 consider heat transfer only in a plane perpendicular to the cables; they assume there is no longitudinal heat transfer.

This part of IEC 60287 deals with the rating for cables installed in ventilated tunnels. In such situations, consideration of longitudinal temperature gradients is involved as the air flowing in the tunnel removes some heat from the cables.

Heat transfer with the moving air is convective and is assumed to be either laminar or turbulent depending on the air velocity. The transition situation between laminar and turbulent air flows is ignored.

A general simplified method is provided to estimate the permissible current-carrying capacity of cables installed in ventilated tunnels, the ventilation being either natural or forced.

Only steady states are considered, where the inlet air temperature and the cable loading are constant for a sufficient time for steady temperatures to be achieved.

Where multiple circuits are involved, their characteristics are assumed to be identical.

The main features of the calculation method for cables in tunnels with forced ventilation can be found in Electra n°143 – 144 (1992)[1]<sup>1</sup>, as the report of a CIGRE working group, including the erratum in Electra n°209 (2003).

---

<sup>1</sup> Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

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

### **Part 2-3: Thermal resistance – Cables installed in ventilated tunnels**

#### **1 Scope**

This part of IEC 60287 describes a method for calculating the continuous current rating factor for cables of all voltages installed in ventilated tunnels. The method is applicable to any type of cable.

The method applies to natural as well as forced ventilation.

Longitudinal heat transfer within the cables and the surroundings of the tunnel is assumed to be negligible.

All cables are assumed to be identical within the tunnel and it is assumed that the tunnel cross-section does not change with distance along the tunnel.

#### **2 Normative references**

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60287-1-1, *Electric cables – Calculation of the current rating – Part 1-1: Current rating equations (100 % load factor) and calculation of losses – General*

IEC 60287-2-1:2015, *Electric cables – Calculation of the current rating – Part 2-1: Thermal resistance – Calculation of thermal resistance*

## SOMMAIRE

AVANT-PROPOS .....	28
INTRODUCTION.....	30
1 Domaine d'application .....	31
2 Références normatives .....	31
3 Termes, définitions et symboles.....	31
3.1 Termes et définitions .....	31
3.2 Symboles.....	31
4 Description de méthode.....	33
4.1 Description générale.....	33
4.2 Formules de base .....	34
4.2.1 Généralités.....	34
4.2.2 Transfert de chaleur radial par conduction à l'intérieur du câble.....	35
4.2.3 Transfert de chaleur par rayonnement de la surface du câble à la paroi intérieure du tunnel.....	35
4.2.4 Transfert de chaleur par convection de la surface du câble à l'air à l'intérieur du tunnel .....	36
4.2.5 Transfert de chaleur par convection de l'air à l'intérieur du tunnel à la paroi intérieure du tunnel.....	37
4.2.6 Transfert de chaleur longitudinal par convection résultant du débit d'air forcé ou naturel le long du tunnel.....	38
4.2.7 Conduction de chaleur radiale dans le sol entourant le tunnel.....	38
4.3 Système de formules .....	38
4.4 Résolution .....	39
4.5 Processus itératif.....	40
5 Formules relatives aux propriétés de l'air.....	41
6 Profil de température .....	41
Annexe A (informative) Exemple de calcul .....	42
A.1 Câble et installation .....	42
A.2 Valeurs calculées.....	42
Annexe B (informative) Transformation triangle-étoile.....	46
Annexe C (informative) Calcul du coefficient $F_m$ .....	47
C.1 Définition de l'espacement .....	47
C.2 Calcul du coefficient $F_m$ .....	47
Bibliographie.....	49
Figure A.1 – Profil de la température le long d'un tunnel de 1 km.....	44
Figure A.2 – Profil de la température le long d'un tunnel de 10 km.....	44
Figure B.1 – Transformation triangle-étoile .....	46
Figure C.1 – Définitions de l'espacement .....	47
Tableau 1 – Coefficient $F_m$ pour le calcul de la résistance thermique de rayonnement .....	36
Tableau 2 – Valeur du paramètre $K_{CV}$ .....	37
Tableau A.1 – Données d'installation .....	42



Tableau A.2 – Processus itératif pour un tunnel d'une longueur de 1 km.....	43
Tableau C.1 – Expression pour le calcul du coefficient $F_m$ .....	47

## COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

### CÂBLES ÉLECTRIQUES – CALCUL DU COURANT ADMISSIBLE –

#### Partie 2-3: Résistance thermique – Câbles posés dans les tunnels ventilés

#### AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC 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, l'IEC – 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 l'IEC"). 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 l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC 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 l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC 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 l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 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 l'IEC, 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 l'IEC, 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 l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, 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 l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale IEC 60287-2-3 a été établie par le comité d'études 20 de l'IEC: Câbles électriques.

Le texte de cette Norme internationale est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
20/1707/FDIS	20/1720/RVD

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

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 60287, publiées sous le titre général: *Câbles électriques – calcul du courant admissible*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu de ce document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives au document recherché. A cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

## INTRODUCTION

Dans la série IEC 60287, IEC 60287-1 fournit des formules générales pour le calcul du courant admissible et les pertes des câbles électriques.

L'IEC 60287-2 présente des formules ou des méthodes de calcul pour les résistances thermiques.

L'IEC 60287-2-1 fournit des méthodes de calcul pour traiter les câbles installés à l'air libre (voir l'IEC 60287-2-1:2015, 4.2.1).

L'IEC 60287-2-2 fournit une méthode et des données pour le calcul des facteurs de réduction pour les câbles en groupes s'étendant horizontalement à l'air libre.

L'IEC 60287-2-1 et l'IEC 60287-2-2 considèrent le transfert de chaleur uniquement dans un plan perpendiculaire aux câbles et supposent qu'il n'y a pas de transfert de chaleur longitudinal.

La présente partie de l'IEC 60287 traite du calcul du courant admissible des câbles installés dans des tunnels ventilés. Dans de tels cas, la considération des gradients de température longitudinaux est impliquée puisque l'air circulant dans le tunnel enlève de la chaleur des câbles.

Le transfert de chaleur avec l'air en mouvement est un transfert par convection et est supposé être soit laminaire soit turbulent en fonction de la vitesse de l'air. Le cas de transition entre les débits d'air laminaire et turbulent est négligé.

Une méthode générale simplifiée est fournie pour évaluer l'intensité de courant admissible des câbles installés dans des tunnels ventilés, la ventilation étant soit naturelle soit forcée.

Seuls les états stationnaires sont pris en compte, où la température d'air d'entrée et la charge de câble sont des constantes pendant un temps suffisant pour atteindre des températures stationnaires.

Lorsque plusieurs circuits sont impliqués, leurs caractéristiques sont supposées être identiques.

Les principales caractéristiques de la méthode de calcul pour les câbles dans des tunnels à ventilation forcée peuvent être consultées dans Electra n°143 – 144 (1992)[1]<sup>1</sup> en tant que rapport d'un groupe de travail du CIGRE (Comité International des Grands Réseaux Électriques) ainsi que dans Electra n°209 (2003) au niveau de l'erratum.

---

<sup>1</sup> Les chiffres entre crochets renvoient à la Bibliographie.

## **CÂBLES ÉLECTRIQUES – CALCUL DU COURANT ADMISSIBLE –**

### **Partie 2-3: Résistance thermique – Câbles posés dans les tunnels ventilés**

#### **1 Domaine d'application**

La présente partie de l'IEC 60287 décrit une méthode de calcul du facteur de courant admissible continu pour les câbles de toutes tensions, installés dans des tunnels ventilés. La méthode est applicable à tout type de câble.

La méthode s'applique aussi bien à la ventilation naturelle qu'à la ventilation forcée.

Le transfert de chaleur longitudinal dans les câbles et les alentours du tunnel est supposé être négligeable.

Tous les câbles sont supposés être identiques à l'intérieur du tunnel et il est supposé que la section transversale du tunnel ne change pas avec la distance le long du tunnel.

#### **2 Références normatives**

Les documents suivants cités dans le texte constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

IEC 60287-1-1, *Câbles électriques – Calcul du courant admissible – Partie 1-1: Équations de l'intensité du courant admissible (facteur de charge 100 %) et calcul des pertes – Généralités*

IEC 60287-2-1:2015, *Câbles électriques – Calcul du courant admissible – Partie 2-1: Résistance thermique – Calcul de la résistance thermique*