

# COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

(affiliée à l'Organisation Internationale de Normalisation — ISO)

## RECOMMANDATION DE LA CEI

# INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

## IEC RECOMMENDATION

### Modification N° 2

Août 1974

à la Publication 287  
(Première édition — 1969)

### Amendment No. 2

August 1974

to Publication 287  
(First edition — 1969)

**Calcul du courant admissible dans les câbles  
en régime permanent (facteur de charge 100%)**

**Calculation of the continuous current rating  
of cables (100% load factor)**

Les modifications contenues dans le présent document ont été approuvées suivant la Règle des Six Mois.

The amendments contained in this document have been approved under the Six Months' Rule.

Les projets de modifications furent discutés par le Sous-Comité 20A du Comité d'Etude N° 20 et furent diffusés en avril 1972 pour approbation suivant la Règle des Six Mois.

The draft amendments were discussed by Sub-Committee 20A of Technical Committee No. 20 and were circulated for approval under the Six Months' Rule in April 1972.



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

1, rue de Varembe

Genève, Suisse

MODIFICATIONS À LA PUBLICATION 287 DE LA CEI:  
CALCUL DU COURANT ADMISSIBLE DANS LES CÂBLES EN RÉGIME PERMANENT  
(FACTEUR DE CHARGE 100%)

(Première édition — 1969)

Page 12

Article 3 Evaluation de l'intensité du courant alternatif admissible dans les câbles

Insérer après la formule pour  $I$  à la ligne 22:

Effet des rayons solaires

En tenant compte de l'effet des rayons solaires sur un câble, l'intensité du courant admissible est donnée par la formule:

$$I = \left[ \frac{\Delta\theta - W_d [0.5 T_1 + n (T_2 + T_3 + T_4)] - \sigma D_c H T_4}{RT_1 + nR (1 + \lambda_1) T_2 + nR (1 + \lambda_1 + \lambda_2) (T_3 + T_4)} \right]^{1/2}$$

où:

$\sigma$  = coefficient d'absorption des rayons solaires à la surface du câble,

$H$  = intensité des rayons solaires qui est de  $0,1 \text{ W cm}^{-2}$  pour la plupart des latitudes,

$T_4$  = résistance thermique externe du câble à l'air libre mais protégé des rayons solaires.

Le courant admissible pour un câble posé à l'air libre, mais protégé des rayons solaires, est obtenu en supposant que  $H = 0$ .

Valeurs de  $\sigma$ :

— bitume/revêtement de jute	0,8*
— polychloroprène	0,8*
— polychlorure de vinyle	0,6*
— plomb	0,6*

\* A l'étude.

Ajouter l'alinéa suivant à la fin de cet article:

L'intensité du courant pour un câble tétrapolaire basse tension peut être considérée comme étant égale à l'intensité d'un câble tripolaire pour la même tension et la même dimension et construction de conducteurs, à condition que ce câble soit utilisé dans un système triphasé dans lequel le quatrième conducteur est soit un conducteur neutre, soit un conducteur de protection. Lorsqu'il s'agit d'un conducteur neutre, l'intensité du courant s'applique à une charge équilibrée.

Page 22

Paragraphe 6.3 Câbles unipolaires disposés en nappe, non transposés, dont les gaines sont court-circuitées aux deux extrémités

Ajouter au bas de la page 22:

Les intensités du courant pour les câbles à l'air doivent être basées sur la première formule donnée ci-dessus, c'est-à-dire la perte pour le câble extérieur dont le courant est déphasé en arrière.

AMENDMENTS TO IEC PUBLICATION 287 :  
CALCULATION OF THE CONTINUOUS CURRENT RATING OF CABLES  
(100% LOAD FACTOR)

(First edition — 1969)

Page 13

Clause 3 Permissible a.c. current rating of cables

Insert after the formula for  $I$  in line 22:

Effect of solar radiation

Taking into account the effect of solar radiation on a cable, the permissible current rating is given by the formula:

$$I = \left[ \frac{\Delta\theta - W_d [0.5 T_1 + n (T_2 + T_3 + T_4)] - \sigma D_e H T_4}{RT_1 + nR (1 + \lambda_1) T_2 + nR (1 + \lambda_1 + \lambda_2) (T_3 + T_4)} \right]^{1/2}$$

where:

$\sigma$  = absorption coefficient of solar radiation for the cable surface,

$H$  = intensity of solar radiation which should be taken as  $0.1 \text{ W cm}^{-2}$  for most latitudes,

$T_4$  = external thermal resistance of the cable in free air, but protected from solar radiation.

The permissible current rating for the cable in free air, but protected from solar radiation, is obtained by assuming  $H = 0$ .

Values of  $\sigma$ :

— bitumen/jute serving	0.8*
— polychloroprene	0.8*
— p.v.c.	0.6*
— lead	0.6*

\* Under consideration.

Add the following paragraph at the end of this clause:

The current rating for a 4-core low-voltage cable may be taken to be equal to the current rating of a 3-core cable for the same voltage and conductor size having the same construction, provided that the cable is to be used in a 3-phase system where the fourth conductor is either a neutral conductor or a protective conductor. When it is a neutral conductor, the current rating applies to a balanced load.

Page 23

Sub-clause 6.3 Single-core cables in flat formation, without transposition, sheaths bonded at both ends

Add at the bottom of page 23:

Ratings for cables in air should be based on the first formula given above, i.e. the loss for the outer cable carrying the lagging phase.

**Page 26**

**Paragraphe 6.6 Câbles unipolaires avec gaines réunies en un seul point ou transposées**

*Insérer après la note:*

Les intensités du courant pour les câbles disposés en nappe doivent être basées sur les pertes du câble central.

**Page 34**

**Paragraphe 7.4 Pertes dans les tuyaux d'acier**

*Page 36, supprimer le dernier alinéa et le remplacer par:*

Les formules indiquées s'appliquent à une fréquence de 60 Hz.

Pour 50 Hz, chaque formule doit être multipliée par 0,76.

**Page 38**

**Paragraphe 8.1.2 Câbles tripolaires à ceinture**

*Supprimer les lignes 13 à 15:*

Pour les valeurs usuelles de sections de conducteurs et d'épaisseur d'isolant,  $F_1$  peut être égal à 1. Cependant, pour les petites sections et les fortes épaisseurs d'isolant entre conducteurs, une valeur plus correcte de  $F_1$  est donnée par:

**Page 42**

**Paragraphe 9.1 Câbles posés à l'air libre**

*Page 44, supprimer les lignes 1 à 4:*

Les câbles revêtus de jute doivent être considérés comme ayant une surface noire.

Pour les câbles non revêtus de jute, à plomb nu ou armure nue, ainsi que pour les câbles à gaine thermoplastique, il faut prendre une valeur de  $h$  intermédiaire entre les valeurs données pour les surfaces sombres et brillantes.

*Remplacer par:*

Les câbles revêtus de jute et les câbles ayant une surface non métallique doivent être considérés comme ayant une surface noire. Pour les câbles non revêtus de jute, à plomb nu ou armure nue, il faut prendre une valeur de  $h$  intermédiaire entre les valeurs données pour les surfaces sombres et brillantes.

**Page 46**

**Paragraphe 9.3.2 Câbles identiques également chargés**

*Page 48, ligne 10, supprimer trois câbles également chargés et remplacer par trois câbles unipolaires également chargés.*

*Lignes 12 à 17, supprimer la formule pour trois câbles également chargés et remplacer par:*

$$T_4 = 0,366 \rho_T \left( \log_{10}(u + \sqrt{u^2 - 1}) + \left[ \frac{1 + 0,5 (\lambda_0^{(1)} + \lambda_0^{(2)})}{1 + \lambda_i} \right] \log_{10} \left[ 1 + \left( \frac{2L}{s_1} \right)^2 \right] \right)$$

**Page 27**

**Sub-clause 6.6 Single-core cables, with sheaths bonded at a single point or cross-bonded**

*Insert after the Note:*

Current ratings for cables in flat formation should be based on the losses for the middle cable.

**Page 35**

**Sub-clause 7.4 Losses in steel pipes**

*Delete the final paragraph on page 37 and substitute:*

The formulae given apply to a frequency of 60 Hz.

For 50 Hz, each formula should be multiplied by 0.76.

**Page 39**

**Sub-clause 8.1.2 Three-core belted cables**

*Delete lines 13 to 15 as follows:*

For the usual range of conductor sizes and insulation thicknesses,  $\epsilon_r$  may be taken as equal to unity. However, with small conductors and large insulation thicknesses between conductors, a more correct value can be obtained from:

**Page 43**

**Sub-clause 9.1 Cables laid in free air**

*Delete lines 1 to 3 on page 45 as follows:*

Served cables should be considered to have a black surface.

Unserved cables, either plain lead or armoured, and cables with a thermoplastic sheath should be given a value of  $h$  midway between the bright and black values.

*Substitute:*

Served cables and cables having a non-metallic surface should be considered to have a black surface. Unserved cables, either plain lead or armoured, should be given a value of  $h$  midway between the bright and black values.

**Page 47**

**Sub-clause 9.3.2 Equally loaded identical cables**

*Line 9 on page 49, delete three equally loaded cables, substitute three equally loaded single-core cables.*

*Lines 11 to 16 on page 49, delete the formula for three equally loaded cables and substitute:*

$$T_4 = 0.366 \rho_T \left( \log_{10} (u + \sqrt{u^2 - 1}) + \left[ \frac{1 + 0.5 (\lambda_0^{(1)} + \lambda_0^{(2)})}{1 + \lambda_1} \right] \log_{10} \left[ 1 + \left( \frac{2L}{s_1} \right)^2 \right] \right)$$

où:

$$u = \frac{L}{r_e}$$

$L$  = distance de la surface du sol à l'axe du câble, cm,

$r_e$  = rayon extérieur du câble, cm,

$s_1$  = distance entre axes de deux câbles voisins, cm,

$\lambda_0^{(1)}$  = facteur de perte à la gaine pour un câble extérieur du groupe,

$\lambda_0^{(2)}$  = facteur de perte à la gaine pour un autre câble extérieur,

$\lambda_i$  = facteur de perte à la gaine pour le câble central.

Lorsque la valeur de  $u$  dépasse 10, le terme  $(u + \sqrt{u^2 - 1})$  peut être remplacé par  $(2u)$ .

Quand la perte diélectrique est significative, le terme entre crochets doit être développé comme suit:

$$\left[ \frac{I^2 R [1 + 0,5 (\lambda_0^{(1)} + \lambda_0^{(2)})] + W_a}{I^2 R (1 + \lambda_i) + W_a} \right]$$

Etant donné que la valeur de  $I$  est inconnue, elle doit faire l'objet d'une estimation puis être éventuellement modifiée selon une méthode itérative. Une méthode alternative, évitant l'emploi d'une méthode itérative, est à l'étude.

#### Paragraphe 9.6 Câbles en caniveaux enterrés

Supprimer les lignes 1 et 2 sous le titre a) Caniveaux enterrés remplis de sable et remplacer par:

Lorsque les câbles sont posés dans des caniveaux remplis de sable, complètement enterrés ou affleurant à la surface du sol, le sable risque de se dessécher et de rester sec pendant de longues périodes. La résistance thermique externe du câble peut être alors très élevée et le câble peut atteindre de hautes températures, ce qui n'est pas souhaitable. Il est conseillé de calculer le courant du câble en utilisant une valeur de 250 °C cm W<sup>-1</sup> pour la résistivité thermique du sable de remplissage, à moins qu'un matériau spécial de remplissage n'ait été choisi dont la résistivité à l'état sec est connue.

#### Page 54

Supprimer ANNEXE et remplacer par ANNEXE A.

Insérer l'annexe B ci-après à la suite de la page 54:

#### ANNEXE B

##### INFORMATIONS EXIGÉES DE L'ACHETEUR POUR PERMETTRE LA SÉLECTION DU TYPE APPROPRIÉ DE CÂBLE

Les informations nécessaires pour permettre la sélection du type approprié de câble ont été extraites de la Publication 183 de la CEI: Guide au choix des câbles à haute tension, et sont données dans cette annexe de manière que les acheteurs puissent fournir les données techniques exigées par le fabricant de câbles lorsqu'il est appelé à spécifier la dimension et le type corrects d'un câble convenant à une application particulière. Les acheteurs doivent fournir au fabricant autant d'informations que possible et attirer l'attention sur les questions auxquelles ils ne connaissent pas la réponse ou sont incertains de la réponse. En l'absence de données techniques définies, un fabricant est obligé de faire des suppositions; par conséquent, toute information que l'acheteur peut fournir lui sera très utile.

#### 1. Conditions de fonctionnement

- a) Tension nominale du système  $U$ : tension efficace entre phases par laquelle le système est désigné.
- b) Tension la plus élevée du système  $U$ : tension efficace entre phases la plus élevée qui peut être supportée dans des conditions normales de fonctionnement, à tout moment et en tout point du système. Elle exclut les variations de tension temporaires dues à des conditions de défaut et à la coupure soudaine de charges élevées.
- c) Fréquence du système.

where:

$$u = \frac{L}{r_e}$$

$L$  = distance from the surface of the ground to the cable axis, cm,

$r_e$  = external radius of one cable, cm,

$s_1$  = axial separation between adjacent cables, cm,

$\lambda_0^{(1)}$  = sheath loss factor for an outer cable of group,

$\lambda_0^{(2)}$  = sheath loss factor for other outer cable,

$\lambda_i$  = sheath loss factor for middle cable.

When the value of  $u$  exceeds 10, the term  $(u + \sqrt{u^2 - 1})$  may be replaced by  $(2u)$ .

When the dielectric loss is significant, the term in square brackets should be expanded as follows:

$$\left[ \frac{I^2 R [1 + 0.5 (\lambda_0^{(1)} + \lambda_0^{(2)})] + W_d}{I^2 R (1 + \lambda_i) + W_d} \right]$$

Since the value of  $I$  is unknown, it must be estimated and subsequently amended in an iterative process, if necessary. An alternative method, which avoids iteration, is being considered.

#### Sub-clause 9.6 Cables in buried troughs

Delete lines 1 and 2 under the heading a) Buried troughs filled with sand and substitute:

Where cables are installed in sand-filled troughs, either completely buried or with the cover flush with the ground surface, there is danger that the sand will dry out and remain dry for long periods. The cable external thermal resistance may then be very high and the cable may reach undesirably high temperatures. It is advisable to calculate the cable rating using a value of  $250 \text{ }^\circ\text{C cm W}^{-1}$  for the thermal resistivity of the sand filling unless a specially selected filling has been used for which the dry resistivity is known.

#### Page 54

Delete APPENDIX, substitute APPENDIX A.

Insert the following Appendix B after page 54:

#### APPENDIX B

#### INFORMATION REQUIRED FROM THE PURCHASER FOR THE SELECTION OF THE APPROPRIATE TYPE OF CABLE

The information, which is necessary to enable the selection of the appropriate type of cable to be made, has been reproduced from IEC Publication 183, Guide to the Selection of High-voltage Cables, and is given in this appendix so that purchasers can provide the data needed by a cable manufacturer when he is called upon to specify the correct size and type of cable for a particular application. Purchasers should provide the manufacturer with as much information as possible, and draw attention to those questions to which they either do not know or are uncertain of the answer. In the absence of definite data, a manufacturer is obliged to make assumptions and therefore any relevant information which a purchaser can provide will be helpful.

##### 1. Operating conditions

- a) Nominal voltage of System  $U$ . The r.m.s. line-to-line voltage by which the system is designated.
- b) Highest voltage of System  $U$ . The highest r.m.s. line-to-line voltage that can be sustained under normal operating conditions at any time and at any point on the system. It excludes temporary voltage variations due to fault conditions and the sudden disconnection of large loads.
- c) System frequency.

- d) Type de la mise à la terre et, lorsque le neutre n'est pas efficacement mis à la terre, la durée maximale admise de la condition de défaut de la mise à la terre en une seule fois.
  - e) Seuil d'impulsion exigé.
  - f) Lorsque des extrémités en plein air sont spécifiées, l'altitude au-dessus du niveau de la mer si elle est supérieure à 1 000 m, et si la pollution atmosphérique est excessive.
  - g) Courant maximal pour un fonctionnement continu.
  - h) Caractéristiques de la charge cyclique.
- Note.* — Une courbe de charge est indispensable si la charge cyclique doit être considérée lors de la détermination de la taille du conducteur.
- j) Courants maximaux qui peuvent passer pendant des courts-circuits à la fois entre phases et à la terre.
  - k) Durée maximale pendant laquelle un courant de court-circuit peut passer.

## 2. Données techniques relatives à l'installation

### 2.1 Généralités

- a) Longueur et profil de la route.
- b) Détail de la pose (pose en trèfle ou en nappe) et façon dont les revêtements métalliques sont reliés entre eux et à la terre.

### 2.2 Câbles souterrains

- a) Détail des conditions d'installation (c'est-à-dire enterrés directement, ou dans des fourreaux, etc.) pour pouvoir prendre des décisions au sujet de la composition de la gaine métallique, du type de l'armure (s'il y a lieu) et du type de revêtement de jute, par exemple anticorrosif, ignifuge ou antitermite.
- b) Profondeur de l'installation.
- c) Résistivités thermiques et nature des sols le long de la route (par exemple sable, argile, sol composé), et si ces informations sont basées sur des mesures et une inspection ou simplement présumées.
- d) Température minimale, maximale et moyenne du sol à la profondeur de l'enterrement du câble.
- e) Proximité d'autres câbles porteurs de courant ou d'autres sources de chaleur, avec détails.
- f) Longueur des caniveaux, fourreaux ou conduits, avec espacement des trous d'hommes s'il y a lieu.
- g) Nombre de fourreaux ou de tuyaux.
- h) Diamètre interne des fourreaux et tuyaux.
- j) Espacement entre les fourreaux ou les tuyaux s'il y en a plus d'un.
- k) Matériau dont sont faits ces fourreaux ou tuyaux.

### 2.3 Câbles posés à l'air

- a) Températures minimale, maximale et moyenne de l'air ambiant auxquelles on peut s'attendre.
- b) S'ils sont exposés aux rayons directs du soleil.
- c) Détails de la ventilation (pour les câbles posés à l'intérieur de bâtiments ou dans des tunnels).
- d) Pour les câbles posés dans les tunnels:

Dimensions du tunnel.

Autres câbles porteurs de courant, de manière que la chaleur totale engendrée dans le tunnel puisse être calculée.

- d) Type of earthing and, where the neutral is not effectively earthed, the maximum permitted duration of earth fault conditions on any one occasion.
  - e) Required impulse level.
  - f) Where outdoor terminals are specified, the altitude above sea level, if above 1 000 m, and whether excessive atmospheric pollution is expected.
  - g) Maximum rated current for continuous operation.
  - h) Cyclic loading requirements.
- Note.* — A load curve is essential if cyclic loading has to be considered when determining conductor size.
- j) Maximum currents which may flow during short-circuits, both between phases and to earth.
  - k) Maximum time for which short-circuit current may flow.

## 2. Installation data

### 2.1 General

- a) Length and profile of route.
- b) Details of the laying arrangement (e.g. flat or trefoil arrangement) and how the metallic coverings are connected to each other and to earth.

### 2.2 Underground cables

- a) Details of installation conditions (e.g. direct burial, in ducts, etc.) to enable decisions to be taken on composition of metallic sheath, type of armour (if required) and type of serving, e.g. anti-corrosion, flame retarding or anti-termite.
- b) Depth of laying.
- c) Thermal resistivities and kinds of soil along the route (e.g. sand, clay, made-up ground), and whether this information is based on measurement and inspection or only assumed.
- d) Minimum, maximum and average ground temperature at the depth of burial.
- e) Proximity of other load-carrying cables, or of other heat sources, with details.
- f) Lengths of troughs, ducts or pipe lines, with spacing of manholes, if any.
- g) Number of ducts or pipes.
- h) Internal diameter of ducts or pipes.
- j) Spacing between individual ducts or pipes, if more than one.
- k) Material of ducts or pipes.

### 2.3 Cables in air

- a) Minimum, maximum and average ambient air temperature to be assumed.
- b) Whether exposed to direct sunlight.
- c) Details of ventilation (for cables indoors or in tunnels).
- d) For cables in tunnels:
  - Dimensions of the tunnel.
  - Other load-carrying cables, so that the total heat generation in the tunnel can be calculated.