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

Partie 1-3:

**Equations de l'intensité du courant admissible
(facteur de charge 100 %) et calcul des pertes –
Répartition du courant entre des câbles
unipolaires disposés en parallèle et calcul
des pertes par courant de circulation**

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iec/37e835c2-f8fa-45c3-8a14-e996085fb22/iec-60287-1-3-2002>

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iec/37e835c2-f8fa-45c3-8a14-e996085fb22/iec-60287-1-3-2002>

*Cette version **française** découle de la publication d'origine **bilingue** dont les pages anglaises ont été supprimées.
Les numéros de page manquants sont ceux des pages supprimées.*

Numérotation des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000. Ainsi, la CEI 34-1 devient la CEI 60034-1.

Editions consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

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 cette publication, y compris sa validité, sont disponibles dans le Catalogue des publications de la CEI (voir ci-dessous) en plus des nouvelles éditions, amendements et corrigenda. Des informations sur les sujets à l'étude et l'avancement des travaux entrepris par le comité d'études qui a élaboré cette publication, ainsi que la liste des publications parues, sont également disponibles par l'intermédiaire de:

- **Site web de la CEI** (www.iec.ch)

- **Catalogue des publications de la CEI**

Le catalogue en ligne sur le site web de la CEI (www.iec.ch/searchpub) vous permet de faire des recherches en utilisant de nombreux critères, comprenant des recherches textuelles, par comité d'études ou date de publication. Des informations en ligne sont également disponibles sur les nouvelles publications, les publications remplacées ou retirées, ainsi que sur les corrigenda.

- **IEC Just Published**

Ce résumé des dernières publications parues (www.iec.ch/online_news/justpub) est aussi disponible par courrier électronique. Veuillez prendre contact avec le Service client (voir ci-dessous) pour plus d'informations.

- **Service clients**

Si vous avez des questions au sujet de cette publication ou avez besoin de renseignements supplémentaires, prenez contact avec le Service clients:

Email: custserv@iec.ch
Tél: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

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

Partie 1-3:

**Equations de l'intensité du courant admissible
(facteur de charge 100 %) et calcul des pertes –
Répartition du courant entre des câbles
unipolaires disposés en parallèle et calcul
des pertes par courant de circulation**

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iec/37e835c2-f8fa-45c3-8a14-e996085f1b22/iec-60287-1-3-2002>

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iec/37e835c2-f8fa-45c3-8a14-e996085f1b22/iec-60287-1-3-2002>

© IEC 2002 Droits de reproduction réservés

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.

International Electrotechnical Commission, 3, rue de Varembe, PO Box 131, CH-1211 Geneva 20, Switzerland
Telephone: +41 22 919 02 11 Telefax: +41 22 919 03 00 E-mail: inmail@iec.ch Web: www.iec.ch



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	4
INTRODUCTION	6
1 Domaine d'application.....	8
2 Références normatives	8
3 Symboles.....	8
4 Description de la méthode	10
4.1 Généralités.....	10
4.2 Résumé de la méthode.....	12
4.3 Solution matricielle	18
Annexe A (informative) Exemple de calculs	20
Annexe B (informative) Exemple de calcul du coefficient α pour les conducteurs à âme creuse.....	36
Bibliographie	38
Figure B.1 – Représentation d'un conducteur à âme creuse.....	36
Tableau 1 – Valeurs de α pour les âmes.....	16
Tableau A.1 – Valeurs calculées de $d_{j,k}$	28
Tableau A.2 – Valeurs calculées de $z_{j,k}$	28
Tableau A.3 – Matrice $[Z]$ comprenant les coefficients des courants.....	30

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

**Partie 1-3: Equations de l'intensité du courant admissible
(facteur de charge 100 %) et calcul des pertes –
Répartition du courant entre des câbles unipolaires disposés en parallèle
et calcul des pertes par courant de circulation**

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 concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, spécifications techniques, rapports techniques ou guides et agréés comme tels 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.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Norme internationale peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 60287-1-3 a été établie par le Comité d'études 20 de la CEI: Câbles électriques.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
20/522/FDIS	20/535/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.

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 3.

Les annexes A et B sont données uniquement à titre d'information.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant 2008. A cette date, la publication sera

- reconduite;
- supprimée;
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

INTRODUCTION

Lorsque des câbles unipolaires sont installés en parallèle, le courant de charge peut ne pas être réparti également entre les câbles. Les courants circulant dans les gaines des câbles peuvent également être de valeur différente. Cela est dû au fait qu'une proportion non négligeable de l'impédance des conducteurs de forte section provient de leur réactances propre et mutuelle. Ainsi l'espacement et la position de chaque câble par rapport aux autres auront un effet sur la répartition du courant et sur les courants de circulation. Les courants dépendent aussi du sens de rotation des phases. La méthode décrite dans la présente norme peut être utilisée pour le calcul de la répartition des courants entre les conducteurs de phase, ainsi que pour les pertes par courant de circulation.

Il n'y a pas de règle simple permettant d'estimer les pertes par courant de circulation dans des câbles parallèles: un calcul est nécessaire pour chaque configuration. Les principes et les formules des impédances sont simples; la difficulté réside dans la résolution du grand nombre d'équations simultanées ainsi générées. Le nombre d'équations à résoudre est généralement trop élevé pour permettre l'utilisation du calcul manuel, et une solution informatique est recommandée. Pour n câbles par phase dotés de gaines métalliques, dans un système triphasé, il y a six n équations qui contiennent le même nombre de variables complexes.

Pour des raisons de simplicité, les équations proposées dans cette norme partent de l'hypothèse que les conducteurs disposés en parallèle sont tous de même section. Si cette condition n'est pas vérifiée, les équations peuvent être ajustées pour tenir compte de la différence des résistances dans chaque conducteur. L'effet des conducteurs de neutre et de terre peut également être pris en compte en incluant ces conducteurs dans le calcul des boucles appropriées. La méthode proposée dans cette norme ne prend pas en compte la composante du courant circulant dans la gaine qui pourrait s'écouler par le réseau de terre ou toute autre voie.

Les courants dans les âmes et les courants de circulation dans les gaines des câbles unipolaires disposés en parallèle ont peu de risque d'être répartis de manière uniforme. Ainsi il convient que la résistance thermique externe des câbles souterrains disposés en parallèle soit calculée par la méthode décrite en 3.1 de la CEI 60287-2-1. En raison du fait que la résistance thermique externe et la température de la gaine sont conditionnées par la dissipation des pertes de chacun des câbles de l'ensemble, il est nécessaire de passer par une procédure itérative pour déterminer les pertes par courant de circulation et la résistance thermique externe.

CÂBLES ÉLECTRIQUES – CALCUL DU COURANT ADMISSIBLE –

Partie 1-3: Equations de l'intensité du courant admissible (facteur de charge 100 %) et calcul des pertes – Répartition du courant entre des câbles unipolaires disposés en parallèle et calcul des pertes par courant de circulation

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60287 fournit une méthode de calcul des courants de phase et des pertes par courant de circulation dans des câbles unipolaires disposés en parallèle.

La méthode décrite dans cette norme peut être utilisée pour un nombre quelconque de câbles par phase lorsqu'ils sont disposés en parallèle, et quelle qu'en soit la disposition géométrique. Les courants de phase peuvent être calculés pour toutes les techniques de mise à la terre des gaines. Pour le calcul des pertes dans les gaines, l'hypothèse est faite que les gaines sont mises à la terre aux deux extrémités. La CEI 60287-1-2 donne une méthode de calcul des pertes dans les gaines par courants de Foucault pour deux circuits posés en nappe.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application 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).

CEI 60287-1-2:1993, *Câbles électriques – Calcul du courant admissible – Partie 1: Equations de l'intensité du courant admissible (facteur de charge 100 %) et calcul des pertes – Section 2: Facteurs de pertes par courants de Foucault dans les gaines dans le cas de deux circuits disposés en nappe*

CEI 60287-2-1:1994, *Câbles électriques – Calcul du courant admissible – Partie 2: Résistance thermique – Section 1: Calcul de la résistance thermique*

3 Symboles

d_c	diamètre de l'âme, mm
d_s	diamètre moyen de la gaine, mm
f	fréquence, Hz
i, k	éléments de la série des conducteurs
m, n	éléments de la série des câbles
p	nombre de câbles par phase
D_{mn}	entraxe des câbles, mm
I_p	courant du conducteur du câble p , A
I_{sp}	courant de circulation dans la gaine du câble p , A
R	résistance d'un élément conducteur, Ω/m

R_c	résistance en courant alternatif de l'âme à la température d'exploitation maximale, Ω/m
R_s	résistance de la gaine à la température d'exploitation, Ω/m
$X_{i,k}$	réactance mutuelle apparente d'une paire de conducteurs
ΔV	chute de tension dans un conducteur
α	coefficient dépendant de la structure de l'âme
λ'_p	facteur de pertes dans la gaine du câble p dû aux courants de circulation
ω	pulsation (fréquence angulaire) du système ($2\pi f$), s^{-1}

4 Description de la méthode

4.1 Généralités

La méthode calcule la proportion du courant de phase transitée par chaque âme, ainsi que le courant circulant dans la gaine de chacun des câbles en parallèle. Le facteur de pertes (λ) pour chaque cas est ensuite calculé comme étant le rapport des pertes dans la gaine causées par les courants de circulation, aux pertes dans l'âme de ce même câble.

La méthode de calcul décrite ci-dessous prend en compte uniquement les chutes de tension le long des conducteurs. Elle n'intègre pas les déséquilibres de charge conduisant à des courants de phase déséquilibrés.

Les équations à résoudre pour le calcul des courants inconnus dans les conducteurs parallèles et leurs gaines sont construites à partir de formules de base donnant, d'une part, l'impédance d'une boucle comprenant deux conducteurs longs disposés en parallèle et, d'autre part, l'impédance mutuelle entre une boucle et un conducteur avoisinant. La considération de ces équations permet d'aboutir à un système d'équations simultanées pour la chute de tension longitudinale dans les âmes et les gaines dans un système triphasé de câbles disposés en parallèle. Les chutes de tension longitudinales dans toutes les âmes en parallèle de la même phase sont égales, comme les chutes de tension longitudinales dans les gaines reliées entre elles. De sorte que les chutes de tension peuvent être éliminées des équations. La somme des courants dans les conducteurs parallèles est égale, soit au courant de phase connu, soit à zéro en ce qui concerne les gaines, ce qui fournit les informations supplémentaires nécessaires à la résolution des équations simultanées.

A noter que les courants en question sont des quantités complexes, contenant des composantes à la fois réelles et imaginaires.

L'impédance mutuelle entre les conducteurs est fonction de leur positionnement l'un par rapport à l'autre. Ainsi, lorsque le positionnement relatif des câbles varie le long du trajet ou que les gaines sont permutées, l'impédance pour chaque tronçon doit être calculée individuellement, avec sommation des résultats vectoriels, pour arriver à l'impédance totale pour chaque boucle. Si la longueur de la liaison est très courte, des erreurs non négligeables peuvent se produire au niveau du résultat calculé, en raison de la variation du positionnement des câbles les uns par rapport aux autres à proximité des extrémités du système.

Les équations décrites dans cette norme peuvent également servir à calculer la répartition du courant entre les câbles non pourvus de gaine métallique ou d'armure, et entre les câbles dont les gaines sont mises à la terre en un point, à une seule extrémité. Pour de tels calculs, le courant circulant dans chaque gaine est égal à zéro. Lorsque les gaines sont mises à la terre en un point à une seule extrémité, la montée en potentiel des gaines à l'extrémité ouverte peut également être déterminée par cette méthode.

En ce qui concerne la méthode décrite dans cette norme, il est recommandé d'effectuer la résolution des équations par un processus d'algèbre matriciel, dont un des avantages est que la solution est unique, et non fonction d'un processus itératif.

4.2 Résumé de la méthode

Le facteur de pertes dans la gaine, dans un câble donné, pour un circuit constitué de plusieurs câbles en parallèle, est représenté par:

$$\lambda'_p = \left(\frac{I_{sp}}{I_p} \right)^2 \frac{R_s}{R_c} \tag{1}$$

où

λ'_p est le facteur de pertes dans la gaine du câble p dû aux courants de circulation;

I_{sp} est le courant circulant dans la gaine du câble p, en A;

I_p est le courant dans l'âme du câble p, en A;

R_s est la résistance de la gaine à la température d'exploitation, en Ω/m ;

R_c est la résistance en courant alternatif de l'âme à la température d'exploitation, en Ω/m .

Les valeurs des courants I_{sp} et I_p sont obtenues par la résolution des équations ayant la forme indiquée ci-dessous, où il existe p conducteurs en parallèle et un nombre total de n conducteurs. Pour des raisons de commodité, les âmes et les gaines sont considérées comme autant de conducteurs simples. Les courants des conducteurs de phase sont I_1, I_2 , etc. Les courants dans les gaines sont $I_{3p+1}, I_{3p+2}, I_{3p+3}$, etc.

La notation suivante est utilisée par souci de simplicité dans les calculs:

Référence de câbles

Circuit	1	...	i	...	p
Phase R	1	...	i	...	p
Phase S	p + 1	...	p + i	...	2p
Phase T	2p + 1	...	2p + i	...	3p

Les conducteurs peuvent être identifiés comme suit:

Référence d'un conducteur de phase = référence du câble

Référence d'une gaine de conducteur = référence du câble + 3p

Pour chaque phase le courant est représenté par:

$$I_R[1 + j0] = \sum_{k=1}^p I_k$$

$$I_S[-0,5 - j0,866] = \sum_{k=p+1}^{2p} I_k \tag{2}$$

$$I_T[-0,5 + j0,866] = \sum_{k=2p+1}^{3p} I_k$$

Les équations ci-dessus partent de l'hypothèse d'une rotation de phase directe. Si la rotation de phase n'est pas connue, le calcul doit être effectué pour les rotations directe et inverse.

Pour les boucles concernant les gaines, le courant est donné par:

$$0 + j0 = \sum_{k=3p+1}^{6p} I_k \quad (3)$$

La chute de tension dans chaque conducteur est ainsi

- pour les conducteurs de la phase R:

$$\Delta V_R = \sum_{k=1}^{6p} Z_{i,k} \times I_k \quad (4)$$

où $i = 1$ à p ,

- pour les conducteurs de la phase S:

$$\Delta V_S = \sum_{k=1}^{6p} Z_{i,k} \times I_k \quad (5)$$

où $i = p + 1$ à $2p$,

- pour les conducteurs de la phase T:

$$\Delta V_T = \sum_{k=1}^{6p} Z_{i,k} \times I_k \quad (6)$$

où $i = 2p+1$ à $3p$,

- pour les gaines:

$$\Delta V_A = \sum_{k=1}^{6p} Z_{i,k} \times I_k \quad (7)$$

où $i = 3p+1$ à $6p$.

L'élimination de la chute de tension pour cet ensemble d'équations donne $(6p - 4)$ équations de la forme suivante:

$$0 + j0 = \sum_{k=3p+1}^{6p} z_{i,k} \times I_k \quad (8)$$

où $z_{i,k} = Z_{i,k} - Z_{i+1,k} = R_{i,k} + j X_{i,k}$

et R est défini comme suit:

$$R = 0 \text{ si } i \neq k \quad R = 0 \text{ si } i \neq k - 1$$