

**COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE  
NORME DE LA CEI**

**INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION  
IEC STANDARD**

**Publication 865**

Première édition – First edition  
1986

---

**Calcul des effets des courants de court-circuit**

---

**Calculation of the effects of short-circuit currents**

---



© CEI 1986

Droits de reproduction réservés – Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

3, rue de Varembe  
Genève, Suisse

## Révision de la présente publication

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la Commission afin d'assurer qu'il reflète bien l'état actuel de la technique.

Les renseignements relatifs à ce travail de révision, à l'établissement des éditions révisées et aux mises à jour peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et en consultant les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la CEI**
- **Annuaire de la CEI**
- **Catalogue des publications de la CEI**  
Publié annuellement

## Terminologie

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la Publication 50 de la CEI: Vocabulaire Electrotechnique International (VEI), qui est établie sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini, l'Index général étant publié séparément. Des détails complets sur le VEI peuvent être obtenus sur demande.

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

## Symboles graphiques et littéraux

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

- la Publication 27 de la CEI: Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique;
- la Publication 617 de la CEI: Symboles graphiques pour schémas.

Les symboles et signes contenus dans la présente publication ont été soit repris des Publications 27 ou 617 de la CEI, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

## Publications de la CEI établies par le même Comité d'Etudes

L'attention du lecteur est attirée sur la page 3 de la couverture, qui énumère les publications de la CEI préparées par le Comité d'Etudes qui a établi la présente publication.

## Revision 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 on the work of revision, the issue of revised editions and amendment sheets may be obtained from IEC National Committees and from the following IEC sources:

- **IEC Bulletin**
- **IEC Yearbook**
- **Catalogue of IEC Publications**  
Published yearly

## Terminology

For general terminology, readers are referred to IEC Publication 50: International Electrotechnical Vocabulary (IEV), which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field, the General Index being published as a separate booklet. Full details of the IEV will be supplied on request.

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:

- IEC Publication 27: Letter symbols to be used in electrical technology;
- IEC Publication 617: Graphical symbols for diagrams.

The symbols and signs contained in the present publication have either been taken from IEC Publications 27 or 617, 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 inside of the back cover, which lists IEC publications issued by the Technical Committee which has prepared the present publication.

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE  
NORME DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION  
IEC STANDARD

**Publication 865**

Première édition – First edition

1986

---

**Calcul des effets des courants de court-circuit**

---

**Calculation of the effects of short-circuit currents**

---



© CEI 1986

Droits de reproduction réservés – Copyright - all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur

No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

3, rue de Varembe

Genève, Suisse

## SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE . . . . .	4
PRÉFACE . . . . .	4
Articles	
1. Domaine d'application . . . . .	6
2. Symboles . . . . .	6
2.1 Symboles relatifs à la Section un — Effets électromagnétiques . . . . .	6
2.2 Symboles relatifs à la Section deux — Effets thermiques . . . . .	8
3. Définitions générales . . . . .	8
3.1 Conducteur principal . . . . .	8
3.2 Sous-conducteur . . . . .	8
3.3 Support . . . . .	8
3.4 Support rigide . . . . .	8
3.5 Support simple . . . . .	8
3.6 Entretoise . . . . .	8
3.7 Raidisseur . . . . .	8
3.8 Courant de court-circuit assigné . . . . .	10
3.9 Densité de courant assignée de courte durée et courte durée assignée pour conducteurs . . . . .	10
3.10 Courant de court-circuit thermique équivalent . . . . .	10
3.11 Densité de courant de court-circuit thermique équivalent . . . . .	10
3.12 Durée du courant de court-circuit . . . . .	10
SECTION UN — EFFETS ÉLECTROMAGNÉTIQUES SUR LES CONDUCTEURS RIGIDES ET LES CONDUCTEURS SOUPLES	
4. Généralités . . . . .	10
5. Forces mécaniques dues aux courants de court-circuit . . . . .	10
5.1 Généralités . . . . .	10
5.2 Calcul des forces . . . . .	12
6. Calcul des contraintes dans les conducteurs rigides et des efforts sur les supports . . . . .	14
6.1 Généralités . . . . .	14
6.2 Calcul des contraintes dans les conducteurs rigides . . . . .	14
6.3 Calcul des forces exercées sur les supports de conducteurs rigides . . . . .	18
6.4 Calcul tenant compte de l'oscillation des conducteurs . . . . .	18
7. Calcul des tensions dans les conducteurs souples (conducteurs de ligne) . . . . .	20
7.1 Tension $F_t$ pendant le court-circuit . . . . .	20
7.2 Tension $F_t$ après le court-circuit (baisse de portée) . . . . .	22
8. Charge admissible sur les supports isolants et les extrémités . . . . .	22
SECTION DEUX — EFFETS THERMIQUES SUR LES CONDUCTEURS NUS	
9. Généralités . . . . .	22
10. Calcul de l'échauffement . . . . .	24
10.1 Généralités . . . . .	24
10.2 Calcul du courant de court-circuit thermique équivalent . . . . .	24
10.3 Calcul de l'échauffement et de la densité de courant assignée de courte durée des conducteurs . . . . .	24
10.4 Détermination de la tenue thermique en court-circuit pour différentes durées du courant de court-circuit . . . . .	26
FIGURES . . . . .	28
TABLEAUX . . . . .	34
ANNEXE — Exemples de calcul des effets des courants de court-circuit . . . . .	42

## CONTENTS

	Page
FOREWORD . . . . .	5
PREFACE . . . . .	5
Clause	
1. Scope . . . . .	7
2. Symbols . . . . .	7
2.1 Symbols for Section One — Electromagnetic effects . . . . .	7
2.2 Symbols for Section Two — Thermal effects . . . . .	9
3. General definitions . . . . .	9
3.1 Main conductor . . . . .	9
3.2 Sub-conductor . . . . .	9
3.3 Support . . . . .	9
3.4 Fixed support . . . . .	9
3.5 Simple support . . . . .	9
3.6 Spacer . . . . .	9
3.7 Stiffening element . . . . .	9
3.8 Rated short-time current . . . . .	11
3.9 Rated short-time current density and rated short-time for conductors . . . . .	11
3.10 Thermal equivalent short-circuit current . . . . .	11
3.11 Thermal equivalent short-circuit current density . . . . .	11
3.12 Duration of short-circuit current . . . . .	11
SECTION ONE — THE ELECTROMAGNETIC EFFECT ON RIGID CONDUCTORS AND SLACK CONDUCTORS	
4. General . . . . .	11
5. Mechanical forces due to short-circuit currents . . . . .	11
5.1 General . . . . .	11
5.2 Calculation of forces . . . . .	13
6. Calculation of stresses in rigid conductors and forces on supports . . . . .	15
6.1 General . . . . .	15
6.2 Calculation of stresses in rigid conductors . . . . .	15
6.3 Calculation of forces on supports of rigid conductors . . . . .	19
6.4 Calculation with special regard to conductor oscillation . . . . .	19
7. Calculation of tensile forces in slack conductors (line conductors) . . . . .	21
7.1 Tensile force $F_t$ during the short-circuit . . . . .	21
7.2 Tensile force $F_t$ after the short-circuit (fall of span) . . . . .	23
8. Permitted load on post insulators and terminals . . . . .	23
SECTION TWO — THE THERMAL EFFECT ON BARE CONDUCTORS	
9. General . . . . .	23
10. Calculation of temperature rise . . . . .	25
10.1 General . . . . .	25
10.2 Calculation of thermal equivalent short-circuit current . . . . .	25
10.3 Calculation of temperature rise and rated short-time current density for conductors . . . . .	25
10.4 Calculation of the thermal short-circuit strength for different durations of the short-circuit current . . . . .	27
FIGURES . . . . .	28
TABLES . . . . .	35
APPENDIX — Examples of calculation of the effects of short-circuit currents . . . . .	43

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

---

**CALCUL DES EFFETS DES COURANTS DE COURT-CIRCUIT**

---

PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des Comités d'Etudes 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.
- 2) Ces décisions constituent des recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 3) Dans le but d'encourager l'unification internationale, la CEI exprime le vœu que tous les Comités nationaux adoptent dans leurs règles nationales le texte de la recommandation de la CEI, dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Toute divergence entre la recommandation de la CEI et la règle nationale correspondante doit, dans la mesure du possible, être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

PRÉFACE

La présente norme a été établie par le Comité d'Etudes n° 73 de la CEI: Courants de court-circuit.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

Regle des Six Mois	Rapport de vote
73(BC)4	73(BC)6

Pour de plus amples renseignements, consulter le rapport de vote mentionné dans le tableau ci-dessus.

---

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**CALCULATION OF THE EFFECTS OF SHORT-CIRCUIT CURRENTS**

## FOREWORD

- 1) 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.
- 2) They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 3) In order to promote international unification, the IEC expresses the wish that all National Committees should adopt the text of the IEC recommendation for their national rules in so far as national conditions will permit. Any divergence between the IEC recommendation and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter.

## PREFACE

This standard has been prepared by IEC Technical Committee No. 73: Short-circuit Currents.

The text of this standard is based upon the following documents:

Six Months' Rule	Report on Voting
73(CO)4	73(CO)6

Further information can be found in the Report on Voting indicated in the table above.

# CALCUL DES EFFETS DES COURANTS DE COURT-CIRCUIT

## 1. Domaine d'application

La présente norme comporte les procédures normalisées de calcul des effets des courants de court-circuit. Elle est divisée en deux sections:

Section un — Effets électromagnétiques sur les conducteurs rigides et les conducteurs souples.

Section deux — Effets thermiques sur les conducteurs nus.

Ne sont traités dans cette norme que les réseaux à courant alternatif et les tensions assignées jusqu'à 72,5 kV inclus.

## 2. Symboles

Les symboles utilisés dans cette norme et les quantités qu'ils représentent figurent dans les listes ci-après:

### 2.1 Symboles relatifs à la Section un – Effets électromagnétiques

$A$	Section d'un conducteur	mm <sup>2</sup>
$a$	Distance entre axes de conducteurs	m
$a_s$	Distance effective entre axes de conducteurs, voir tableau I	m
$a_{1s}$	Distance entre axes de conducteurs	m
$b$	Dimension d'un sous-conducteur perpendiculairement à la direction de la force	m
$c$	Coefficient d'influence des entretoises ou raidisseurs, voir figure 3, page 29	
$d$	Dimension d'un sous-conducteur dans la direction de la force	m
$E$	Module de Young	N/mm <sup>2</sup>
$F$	Force entre deux conducteurs parallèles de grande longueur au cours d'un court-circuit	N
$F_d$	Force sur le support de conducteurs rigides au cours d'un court-circuit (valeur de crête)	N
$F_f$	Tension d'un conducteur souple après un court-circuit	N
$F_m$	Force entre conducteurs principaux	N
$F_{m2}$	Force entre conducteurs principaux au cours d'un court-circuit biphasé	N
$F_{m3}$	Force sur le conducteur central principal au cours d'un court-circuit triphasé symétrique	N
$F_s$	Force entre sous-conducteurs	N
$F_{st}$	Tension statique d'un conducteur souple	N
$F_t$	Tension d'un conducteur souple pendant un court-circuit	N
$F'_0$	Force par unité de longueur sur un conducteur souple de phase latérale due à un courant de court-circuit	N/m
$f$	Fréquence du réseau	Hz
$f_c$	Fréquence propre d'un conducteur principal	Hz
$f_0$	Fréquence de base	Hz
$g_n$	Valeur conventionnelle de l'accélération de la pesanteur	m/s <sup>2</sup>
$I_{k3}$	Courant de court-circuit triphasé symétrique (valeur efficace)	kA
$i_p$	Valeur de crête du courant de court-circuit	kA
$i_{p2}$	Valeur de crête du courant de court-circuit biphasé	kA
$i_{p3}$	Valeur de crête du courant de court-circuit triphasé symétrique	kA
$i_1, i_2$	Valeurs instantanées du courant dans les conducteurs	kA
$J$	Moment d'inertie de la section d'un conducteur	cm <sup>4</sup>
$J_s$	Moment d'inertie de la section d'un sous-conducteur	cm <sup>4</sup>
$k$	Nombre d'entretoises ou de raidisseurs, voir figure 3	
$k_{1s}$	Coefficient relatif à la distance effective entre axes de conducteurs, voir figure 1, page 28	
$l$	Distance entre supports	m
$l_s$	Distance entre entretoises ou raidisseurs	m
$m'$	Masse d'un conducteur principal par unité de longueur	kg/m
$m'_s$	Masse d'un sous-conducteur par unité de longueur	kg/m
$m_z$	Masse totale des raidisseurs ou entretoises entre supports	kg
$n$	Nombre de sous-conducteurs	
$q$	Coefficient de déformation, voir tableau III	
$R_{p0,2}$	Limite élastique	N/mm <sup>2</sup>
$S$	Raideur du conducteur libre	N/mm
$t_u$	Temps mort du réenclenchement automatique triphasé	s
$V_F$	Rapport entre forces dynamique et statique exercées sur le support, voir figure 4, page 30	

## CALCULATION OF THE EFFECTS OF SHORT-CIRCUIT CURRENTS

### 1. Scope

This standard contains standardized procedures for the calculation of the effects of the short-circuit currents in two sections as follows:

Section One — The electromagnetic effect on rigid conductors and slack conductors.

Section Two — The thermal effect on bare conductors.

Only a.c. systems for rated voltages up to and including 72.5 kV are dealt with in this standard.

### 2. Symbols

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

#### 2.1 Symbols for Section One – Electromagnetic effects

$A$	Conductor cross-section	mm <sup>2</sup>
$a$	Centre-line distance between conductors	m
$a_s$	Effective conductor central distance, see Table I	m
$a_{1s}$	Centre-line distance between conductors	m
$b$	Dimension of the sub-conductor perpendicular to the direction of the force	m
$c$	Factor for the influence of spacers or stiffening elements, see Figure 3, page 29	
$d$	Dimension of the sub-conductor in the direction of the force	m
$E$	Young's modulus	N/mm <sup>2</sup>
$F$	Force acting between two parallel long conductors during a short-circuit	N
$F_d$	Force on support of rigid conductors during a short-circuit (peak value)	N
$F_f$	Tension in a flexible conductor after a short-circuit	N
$F_m$	Force between main conductors	N
$F_{m2}$	Force between main conductors during a line-to-line short-circuit	N
$F_{m3}$	Force acting on central main conductor during a balanced three-phase short-circuit	N
$F_s$	Force between sub-conductors	N
$F_{st}$	Static tension in a flexible conductor	N
$F_t$	Tension in a flexible conductor during a short-circuit	N
$F'_o$	Force per unit length on outer phase flexible conductor caused by a short-circuit current	N/m
$f$	System frequency	Hz
$f_c$	Natural frequency of a main conductor	Hz
$f_o$	Basic frequency	Hz
$g_n$	Conventional value of acceleration of gravity	m/s <sup>2</sup>
$I_{k3}$	Three-phase symmetrical short-circuit current (r.m.s.)	kA
$i_p$	Peak short-circuit current	kA
$i_{p2}$	Peak short-circuit current in case of a line-to-line short-circuit	kA
$i_{p3}$	Peak short-circuit current in case of a balanced three-phase short-circuit	kA
$i_1, i_2$	Instantaneous values of the currents in the conductors	kA
$J$	Second moment of conductor area	cm <sup>4</sup>
$J_s$	Second moment of sub-conductor area	cm <sup>4</sup>
$k$	Number of spacers or stiffening elements, see Figure 3	
$k_{1s}$	Factor for effective conductor central distance, see Figure 1, page 28	
$l$	Distance between supports	m
$l_s$	Distance between spacers or stiffening elements	m
$m'$	Main conductor mass per unit length	kg/m
$m'_s$	Mass of sub-conductor per unit length	kg/m
$m_z$	Total mass of one stiffening element or spacer between supports	kg
$n$	Number of sub-conductors	
$q$	Factor of plasticity, see Table III	
$R_{p0.2}$	Yield point	N/mm <sup>2</sup>
$S$	Resultant spring constant of conductor dead end	N/mm
$t_u$	Dead-time of three-phase auto-reclosure	s
$V_F$	Ratio between dynamic and static force on support, see Figure 4, page 30	

$V_r$	Rapport entre contraintes avec ou sans réenclenchement automatique triphasé non réussi, voir figure 5, page 30	
$V_\sigma$	Rapport entre contraintes dynamique et statique sur conducteur, voir figure 4, page 30	
$V_{\sigma s}$	Rapport entre contraintes dynamique et statique sur sous-conducteur, voir figure 4	
$Z$	Module de section	cm <sup>3</sup>
$Z_s$	Module de section d'un sous-conducteur	cm <sup>3</sup>
$\alpha$	Coefficient relatif à la force exercée sur le support, voir tableau II	
$\beta$	Coefficient relatif à la contrainte sur conducteur principal, voir tableau II	
$\gamma$	Coefficient relatif à la valeur estimée de la fréquence propre, voir tableau II	
$\kappa$	Coefficient relatif à la valeur de crête du courant du court-circuit	
$\zeta, \varphi, \psi$	Coefficients relatifs à la tension dans les conducteurs souples, voir figure 6, page 31	
$\sigma_m$	Contrainte de flexion sur conducteur principal	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_\sigma$	Contrainte de flexion sur sous-conducteur	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{tot}$	Contrainte résultante sur conducteur	N/mm <sup>2</sup>

## 2.2 Symboles relatifs à la Section deux – Effets thermiques

$I_k$	Courant de court-circuit permanent (valeur efficace)	kA
$I_k'$	Courant de court-circuit symétrique initial (valeur efficace)	kA
$I_{th}$	Courant de court-circuit thermique équivalent (valeur efficace)	kA
$I_{thi}$	Valeur individuelle du courant de court-circuit thermique équivalent en cas de courts-circuits répétés (valeur efficace)	kA
$I_{thr}$	Courant de court-circuit assigné (valeur efficace)	kA
$m$	Coefficient relatif à l'effet thermique de la composante continue, voir figure 7a), page 32	
$n$	Coefficient relatif à l'effet thermique de la composante alternative, voir figure 7b), page 32	
$S_{th}$	Densité de courant de court-circuit thermique équivalent (valeur efficace)	A/mm <sup>2</sup>
$S_{thr}$	Densité de courant assignée de courte durée (valeur efficace) pendant 1 s	A/mm <sup>2</sup>
$T_k$	Durée du court-circuit	s
$T_{ki}$	Durée de court-circuit individuelle lors de courts-circuits répétés	s
$T_{kr}$	Durée de court-circuit assignée	s
$\theta_b$	Température du conducteur en début de court-circuit	°C
$\theta_e$	Température du conducteur en fin de court-circuit	°C

## 3. Définitions générales

### 3.1 Conducteur principal

Conducteur unique ou ensemble de plusieurs conducteurs parcouru par le courant total d'une phase.

### 3.2 Sous-conducteur

Conducteur parcouru par une partie du courant total d'une phase et faisant partie d'un conducteur principal.

### 3.3 Support

Dispositif isolant placé entre un conducteur actif et la structure mise à la terre ou entre conducteurs principaux.

*Note.* — Sous l'action des forces électromagnétiques agissant sur les conducteurs, le support, de par sa position, peut être soumis à des efforts de flexion, de traction et/ou de compression.

### 3.4 Support rigide

Support qui empêche tout déplacement angulaire du conducteur au point de fixation.

### 3.5 Support simple

Support qui permet le déplacement angulaire du conducteur.

### 3.6 Entretoise

Élément mécanique placé entre conducteurs dans le but d'empêcher les sous-conducteurs de se déplacer les uns par rapport aux autres au point d'installation.

### 3.7 Raidisseur

Entretoise spéciale destinée à prévenir tout mouvement entre sous-conducteurs rigides au point de fixation.

$V_r$	Ratio between stress with and without unsuccessful three-phase auto-reclosure, see Figure 5, page 30	
$V_G$	Ratio between dynamic and static conductor stress, see Figure 4, page 30	
$V_{Gs}$	Ratio between dynamic and static sub-conductor stress, see Figure 4	
$Z$	Section modulus	cm <sup>3</sup>
$Z_s$	Section modulus for sub-conductor	cm <sup>3</sup>
$\alpha$	Factor for force on support, see Table II	
$\beta$	Factor for main conductor stress, see Table II	
$\gamma$	Factor for natural frequency estimation, see Table II	
$\kappa$	Factor for peak short-circuit current	
$\zeta, \varphi, \psi$	Factors for tensile force in flexible conductor, see Figure 6, page 31	
$\sigma_m$	Bending stress in main conductor	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_s$	Bending stress in sub-conductor	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{tot}$	Resulting conductor stress	N/mm <sup>2</sup>

## 2.2 Symbols for Section Two – Thermal effects

$I_k$	Steady state short-circuit current (r.m.s.)	kA
$I_k'$	Initial symmetrical short-circuit current (r.m.s.)	kA
$I_{th}$	Thermal equivalent short-circuit current (r.m.s.)	kA
$I_{thi}$	Individual thermal equivalent short-circuit current at repeated short-circuits (r.m.s.)	kA
$I_{thr}$	Rated short-time current (r.m.s.)	kA
$m$	Factor for the heat effect of the d.c. component, see Figure 7a), page 32	
$n$	Factor for the heat effect of the a.c. component, see Figure 7b), page 32	
$S_{th}$	Thermal equivalent short-circuit current density (r.m.s.)	A/mm <sup>2</sup>
$S_{thr}$	Rated short-time current density (r.m.s.) for 1 s	A/mm <sup>2</sup>
$T_k$	Short-circuit duration	s
$T_{ki}$	Individual short-circuit duration at repeated short-circuits	s
$T_{kr}$	Rated short-time	s
$\theta_b$	Conductor temperature at the beginning of a short-circuit	°C
$\theta_e$	Conductor temperature at the end of a short-circuit	°C

## 3. General definitions

### 3.1 Main conductor

A conductor or a composed arrangement of a number of conductors carrying the total current in one phase.

### 3.2 Sub-conductor

A conductor which carries a certain part of the total current in one phase and is a part of the main conductor.

### 3.3 Support

An insulating device between a live conductor and the earthed structure or between main conductors.

*Note.* — Under action of electromagnetic forces, in the given position, the support might be exposed to bending, tension and/or compression due to electromagnetic forces between the conductors.

### 3.4 Fixed support

A support of a conductor which does not permit the conductor to move angularly at the supported point.

### 3.5 Simple support

A support which permits angular movement of the conductor.

### 3.6 Spacer

A mechanical element between conductors which, at the point of installation, prevents sub-conductors being displaced towards each other.

### 3.7 Stiffening element

A special spacer intended to prevent any movement between rigid sub-conductors at its place.

### 3.8 Courant de court-circuit assigné

Courant, en valeur efficace, que le matériel électrique est capable de supporter dans des conditions spécifiées pendant la durée de court-circuit assignée.

*Notes 1.* — On peut définir plusieurs couples de valeurs assignées de la courte durée et du courant correspondant, mais pour l'effet thermique, la valeur de 1 s est utilisée dans la plupart des spécifications de la CEI.

2. — Le courant assigné de courte durée et la courte durée correspondante sont indiqués par le fabricant du matériel.

### 3.9 Densité de courant assignée de courte durée et courte durée assignée pour conducteurs

Densité de courant, en valeur efficace, que le conducteur est capable de supporter pendant la courte durée assignée.

*Note.* — La valeur assignée de densité de courant de courte durée est déterminée conformément à l'article 10.

### 3.10 Courant de court-circuit thermique équivalent

Courant de valeur efficace constante ayant le même effet thermique et la même durée que le courant de court-circuit réel, qui peut inclure une composante continue et peut diminuer en durée.

*Note.* — Dans le cas de courts-circuits répétés (réenclenchements répétés), on procède à une estimation du courant de court-circuit thermique équivalent (voir paragraphe 10.2).

### 3.11 Densité de courant de court-circuit thermique équivalent

Rapport du courant thermique équivalent de courte durée à la section du conducteur.

### 3.12 Durée du courant de court-circuit

Intervalle de temps séparant le commencement du court-circuit et la coupure finale du courant sur toutes les phases par le disjoncteur ou le coupe-circuit à fusibles.

*Note.* — Il n'est pas nécessaire de considérer l'intervalle de temps durant lequel le courant ne circule pas.

## SECTION UN — EFFETS ÉLECTROMAGNÉTIQUES SUR LES CONDUCTEURS RIGIDES ET LES CONDUCTEURS SOUPLES

### 4. Généralités

Il est possible, grâce aux méthodes de calcul présentées dans cette section, d'évaluer les forces exercées sur les isolateurs, les contraintes exercées sur les conducteurs rigides et la traction exercée sur les conducteurs souples.

### 5. Forces mécaniques dues aux courants de court-circuit

#### 5.1 Généralités

Les courants dans des conducteurs parallèles induisent des forces électromagnétiques entre les conducteurs. Lorsque la longueur des conducteurs parallèles est grande par rapport à la distance qui les sépare, ces forces seront régulièrement réparties le long des conducteurs.

Lorsque les courants sont de sens opposés la force électromagnétique est une répulsion qui tend à induire des déformations entraînant une augmentation de l'inductance du circuit.

L'intensité de la force dans une direction donnée peut se calculer en considérant le travail effectué au cours d'un déplacement virtuel dans cette direction. Le travail étant dû aux forces électromagnétiques, il doit être égal à la variation d'énergie du champ magnétique créée par ce déplacement virtuel. Cela conduit pour la force  $F_x$ , dans la direction  $x$ , à l'équation suivante:

$$F_x = \frac{1}{2} i^2 \frac{dL}{dx} \quad (1)$$

où  $L$  est l'inductance propre du circuit et  $i$  la valeur instantanée du courant.

### 3.8 *Rated short-time current*

The r.m.s. current which the electrical equipment is able to withstand during the rated short-time under specified conditions.

*Notes 1.* — It is possible to state several pairs of values of rated short-time current and short-time; for thermal effect  $I_s$  is used in most IEC specifications.

2. — The rated short-time current as well as the corresponding short-time are stated by the manufacturer of the equipment.

### 3.9 *Rated short-time current density and rated short-time for conductors*

The r.m.s. value of the current density which a conductor is able to withstand for the rated short time.

*Note.* — The rated short-time current density is determined according to Clause 10.

### 3.10 *Thermal equivalent short-circuit current*

A constant r.m.s. value of current having the same thermal effect and the same duration as the actual short-circuit current, which may comprise d.c. component and may subside in time.

*Note.* — If repeated short-circuits occur (i.e. repeated reclosures) a resulting thermal equivalent short-circuit current is evaluated (see Sub-clause 10.2).

### 3.11 *Thermal equivalent short-circuit current density*

The ratio of the thermal equivalent short-time current and the cross-section area of the conductor.

### 3.12 *Duration of short-circuit current*

The time interval between the initiation of the short-circuit and the final breaking of the current in all phases by the circuit-breakers or fuses.

*Note.* — The time interval in which the current does not flow need not be considered.

## SECTION ONE — THE ELECTROMAGNETIC EFFECT ON RIGID CONDUCTORS AND SLACK CONDUCTORS

### 4. **General**

With the calculation methods presented in this section, forces on insulators, stresses in rigid conductors and tensile forces in slack conductors can be estimated.

### 5. **Mechanical forces due to short-circuit currents**

#### 5.1 *General*

Currents in parallel conductors will induce electromagnetic forces between the conductors. When the parallel conductors are long compared to the distance between them, the forces will act evenly distributed along the conductors.

When the currents are in opposite directions the electromagnetic force is a repulsion which tends to induce deformations that would increase inductance of the circuit.

The value of the force in a given direction can be calculated by considering the work done in the case of a virtual displacement in the actual direction. As the work is done by the electromagnetic force, it must be equal to the change in the energy in the magnetic field caused by this virtual displacement. This leads to the following equation for the force  $F_x$  in direction  $x$ :

$$F_x = \frac{1}{2} i^2 \frac{dL}{dx} \quad (1)$$

where  $L$  is the self-inductance of the circuit and  $i$  the instantaneous value of the current.

On dispose de formules pour le calcul des inductances des configurations simples et idéalisées. Cependant, dans la plupart des cas, on doit avoir recours à des approximations afin de disposer de méthodes pratiques de calcul.

La force agissant entre deux conducteurs est proportionnelle au carré du courant, ou au produit de deux courants. Le courant étant fonction du temps, il en est de même de la force. Dans le cas d'un courant de court-circuit sans composante continue, la force varie avec une fréquence égale à deux fois celle du courant. Si le courant de court-circuit comporte une composante continue, celle-ci donne lieu à une augmentation de la valeur de crête de la force et à une composante de même fréquence que le courant. La valeur de crête de la force est particulièrement importante dans le cas de structures mécaniquement rigides.

La force agissante créera une contrainte de flexion sur les conducteurs rigides, une contrainte de traction et une déflexion sur les conducteurs souples, et des efforts de flexion, de compression ou de traction sur les supports.

## 5.2 Calcul des forces

La méthode de calcul appliquée dans cette section repose sur l'équation générale (1), les variations de distance pendant le court-circuit étant négligées.

### 5.2.1 Forces entre deux conducteurs parallèles

Les forces, en newtons, agissant entre deux conducteurs parallèles de grande longueur sont données par la formule:

$$F = 0,2 i_1 i_2 \frac{l}{a} \quad \text{N} \quad (2)$$

où  $l$  est la distance, en mètres, entre les supports,  $i_1$  et  $i_2$  les valeurs instantanées du courant dans les conducteurs, en kiloampères, et  $a$  la distance entre axes des conducteurs, en mètres.

Lorsque les courants dans les deux conducteurs ont la même direction, les forces sont attractives; lorsque le sens des courants est opposé, les forces sont répulsives.

### 5.2.2 Calcul de la valeur de crête de la force entre les conducteurs principaux lors d'un court-circuit triphasé

Dans un système triphasé dont les conducteurs sont disposés à intervalles réguliers sur une même nappe, la force maximale s'exerce sur le conducteur central lors d'un court-circuit triphasé et vaut au maximum:

$$F_{m3} = 0,2 i_{p3}^2 \frac{l}{a_s} 0,87 \quad \text{N} \quad (3)$$

où  $i_{p3}$ , en kiloampères, est la valeur de crête de la composante alternative du courant de court-circuit dans le cas d'un court-circuit triphasé symétrique.

*Note.* — On peut également utiliser la formule (3) pour le calcul de la force de crête résultante, lorsque les conducteurs sont placés aux sommets d'un triangle équilatéral dans lequel  $a_s$  représente la longueur du côté du triangle.

### 5.2.3 Calcul de la valeur de crête de la force entre les conducteurs principaux lors d'un court-circuit biphasé

La force maximale s'exerçant entre les deux conducteurs parcourus par le courant de court-circuit, lors d'un court-circuit biphasé, vaut au maximum:

$$F_{m2} = 0,2 i_{p2}^2 \frac{l}{a_s} \quad \text{N} \quad (4)$$

où  $i_{p2}$ , en kiloampères, est la valeur de crête du courant de court-circuit biphasé.

For simple and idealized configurations, formulae for the calculation of inductance are available. However, in most cases approximations are necessary to give practical calculation methods.

The force between two conductors is proportional to the square of the current, or to the product of the two currents. As the current is a function of time, the force will also be a function of time. In the case of a short-circuit current without a d.c. component the force will vary with twice the frequency of the current. A d.c. component in the short-circuit current will give rise to an increase of the peak value of the force and to a component of force varying with the same frequency as the current. The peak value of the force is of particular interest in the case of mechanically rigid structures.

The force will result in bending stress on rigid conductors, tension stress and deflection in flexible conductors and bending, compression or tension loads on the supports.

## 5.2 Calculation of forces

The calculation method in this section is based on the general equation (1), neglecting the variations in distance during the short-circuit.

### 5.2.1 Forces between two parallel conductors

The forces in newtons acting between two long parallel conductors are given by the formula:

$$F = 0.2 i_1 i_2 \frac{l}{a} \quad \text{N} \quad (2)$$

where  $l$  is the distance, in metres, between supports,  $i_1$  and  $i_2$  are the instantaneous values of the currents in the conductors in kiloamperes,  $a$  is the centre-line distance between the conductors in metres.

When the currents in the two conductors have the same direction, the forces are attractive. When the direction of the currents is opposite, the forces are repulsive.

### 5.2.2 Calculation of peak force between the main conductors during a three-phase short-circuit

In a three-phase system with the conductors arranged at the same intervals on the same plane, the maximum force acts on the central conductor during a three-phase short-circuit and is:

$$F_{m3} = 0.2 i_{p3}^2 \frac{l}{a_s} 0.87 \quad \text{N} \quad (3)$$

where  $i_{p3}$  in kiloamperes is the peak value of the a.c. component of the short-circuit current in the case of a balanced three-phase short-circuit.

*Note.* — Formula (3) can also be used for calculating the resulting peak force when the conductors are in the corners of an equilateral triangle and where  $a_s$  is the length of the side of the triangle.

### 5.2.3 Calculation of peak force between the main conductors during a two-phase short-circuit

The maximum force acting between the conductors carrying the short-circuit current during a two-phase short-circuit is:

$$F_{m2} = 0.2 i_{p2}^2 \frac{l}{a_s} \quad \text{N} \quad (4)$$

where  $i_{p2}$  in kiloamperes is the peak short-circuit current in the case of a line-to-line short-circuit.

5.2.4 *Calcul de la valeur de crête des forces entre sous-conducteurs rigides*

La force maximale s'exerce sur les sous-conducteurs externes et vaut, entre deux entretoises:

$$F_s = 0,2 \left( \frac{i_p}{n} \right)^2 \frac{l_s}{a_s} \text{ N} \tag{5}$$

lorsque le courant de court-circuit est répartie de façon égale entre les sous-conducteurs,  $n$  est le nombre de sous-conducteurs,  $l_s$  est la distance entre entretoises, en mètres, et  $a_s$  est la distance effective entre sous-conducteurs en mètres.

5.2.5 *Distance effective entre conducteurs et sous-conducteurs*

Les forces entre les conducteurs porteurs de courant dépendent de la configuration géométrique et du profil des conducteurs. Aussi a-t-on introduit  $a_s$  aux paragraphes 5.2.2, 5.2.3 et 5.2.4. Toutefois, lorsque la section des conducteurs est inférieure à leur distance entre axes, on peut remplacer  $a_s$  par  $a$  aux paragraphes 5.2.2 et 5.2.3.

Des valeurs de  $a_s$  sont données dans le tableau I. Pour d'autres distances et d'autres dimensions de sous-conducteurs, on peut utiliser la formule

$$\frac{1}{a_s} = \frac{k_{12}}{a_{12}} + \frac{k_{13}}{a_{13}} + \frac{k_{14}}{a_{14}} + \dots + \frac{k_{1n}}{a_{1n}} \tag{6}$$

Les valeurs de  $k_{12}, \dots, k_{1n}$  sont à prendre à la figure 1, page 28.

*Note.* — Les efforts dus aux flexions et l'influence d'un volume important de matériaux magnétiques proches des conducteurs sont généralement faibles. Pour les calculs, se référer aux publications existantes.

6. **Calcul des contraintes dans les conducteurs rigides et des efforts sur les supports**

6.1 *Généralités*

Les conducteurs peuvent être supportés de différentes façons, qu'ils soient encastés ou en appui simple ou bien disposés suivant une combinaison des deux modes, et comporter 2, 3, 4 supports ou davantage. Pour le même courant de court-circuit, la contrainte exercée sur les conducteurs et les efforts sur les supports varieront suivant le type et le nombre de supports. La formule donnée tient également compte de l'élasticité des supports.

La contrainte dans les conducteurs et les efforts sur les supports dépendent également du rapport entre la fréquence naturelle d'oscillation du système mécanique et la fréquence d'oscillation des forces électromagnétiques. En particulier, il peut y avoir amplification des contraintes et des efforts dans les cas de résonance ou proches de la résonance.

6.2 *Calcul des contraintes dans les conducteurs rigides*

Un conducteur est présumé rigide, lorsque l'on n'a pas à tenir compte des forces axiales. Selon cette hypothèse, les forces exercées sont des forces de flexion et la formule générale de la contrainte de flexion dans un conducteur principal placé sur support est la suivante:

$$\sigma_m = V_\sigma V_r \beta \frac{F_m l}{8 Z} \text{ N/mm}^2 \tag{7}$$

où pour  $F_m$  il convient d'utiliser la valeur  $F_{m3}$  (court-circuit triphasé) ou  $F_{m2}$  (court-circuit biphasé).

La contrainte de flexion dans un sous-conducteur est:

$$\sigma_s = V_{\sigma s} V_r \frac{F_s l_s}{16 Z_s} \text{ N/mm}^2 \tag{8}$$

#### 5.2.4 Calculation of peak value of forces between rigid sub-conductors

The maximum force acts on the outer sub-conductors and is between two spacers:

$$F_s = 0.2 \left( \frac{i_p}{n} \right)^2 \frac{l_s}{a_s} \text{ N} \quad (5)$$

when the short-circuit current is evenly distributed between the sub-conductors;  $n$  is the number of sub-conductors,  $l_s$  is the distance between spacers or stiffening elements, in metres, and  $a_s$  is the effective distance between sub-conductors, in metres.

#### 5.2.5 Effective distance between conductors and sub-conductors

The forces between current-carrying conductors are dependent on the geometrical configuration and the profile of the conductors. For this reason  $a_s$  has been introduced in Sub-clauses 5.2.2, 5.2.3 and 5.2.4. However, if the dimensions of the cross-sections of the conductors are smaller than the distance between the conductor centres, in Sub-clauses 5.2.2 and 5.2.3  $a_s$  may be replaced by  $a$ .

Some values for  $a_s$  are given in Table I. For other distances and conductor dimensions the formula

$$\frac{1}{a_s} = \frac{k_{12}}{a_{12}} + \frac{k_{13}}{a_{13}} + \frac{k_{14}}{a_{14}} + \dots + \frac{k_{1n}}{a_{1n}} \quad (6)$$

can be used

The values for  $k_{12}, \dots, k_{1n}$  are to be taken from Figure 1, page 28.

*Note.* — The forces due to bends and the influence of a large amount of magnetic material close to the conductors are usually of low importance. For the calculations, see existing publications.

## 6. Calculation of stresses in rigid conductors and forces on supports

### 6.1 General

The conductors may be supported in different manners, either fixed or simple or in a combination of both, and may have two, three, four or several supports. Depending on the kind of support and the number of supports, the stress in the conductors and the forces on the supports will be different for the same short-circuit current. The formulas given also take the elasticity of the supports into account.

The stresses in the conductors and the forces on supports also depend on the ratio between the natural frequency of the mechanical system and the frequency of the electromagnetic force. Especially in the case of resonance, or near to resonance, the stresses and forces in the system may be amplified.

### 6.2 Calculation of stresses in rigid conductors

The assumption that the conductor is rigid means that the axial forces are disregarded. Under this assumption the forces acting are bending forces and the general formula for the bending stress in the supported main conductor is:

$$\sigma_m = V_\sigma V_r \beta \frac{F_m l}{8 Z} \text{ N/mm}^2 \quad (7)$$

where for  $F_m$  either the value  $F_{m3}$  (three-phase short-circuit) or  $F_{m2}$  (line-to-line short-circuit) is to be used.

The bending stress in a sub-conductor is:

$$\sigma_s = V_{\sigma s} V_r \frac{F_s l_s}{16 Z_s} \text{ N/mm}^2 \quad (8)$$

où  $Z$  et  $Z_s$  sont les modules de section,  $V_\sigma$ ,  $V_{\sigma_s}$  et  $V_r$  sont des facteurs tenant compte des phénomènes dynamiques et  $\beta$  est un facteur correctif dépendant du type et du nombre de supports, encastres ou d'appui simple.

Le coefficient  $\beta$  est donné au tableau II et  $V_\sigma$ ,  $V_{\sigma_s}$  et  $V_r$  aux figures 4 et 5, page 30.

$V_\sigma = V_{\sigma_s}$  valent au maximum 1.

Dans le cas d'un réenclenchement automatique triphasé, on prendra  $V_r = 1,8$ . Sinon  $V_r = 1$ .

Pour plus de détails, voir paragraphe 6.4.

### 6.2.1 *Contrainte admissible dans un conducteur*

Un conducteur pris isolément est présumé capable de supporter les forces de court-circuit lorsque:

$$\sigma_m \leq q R_{p0,2} \quad (9)$$

où  $R_{p0,2}$  est la contrainte de limite élastique.

Le coefficient  $q$  est donné au tableau III.

Dans le cas d'un conducteur principal constitué de deux ou plusieurs sous-conducteurs, la contrainte totale exercée sur le conducteur est:

$$\sigma_{tot} = \sigma_m + \sigma_s \quad (10)$$

*Note.* —  $\sigma_{tot}$  est la somme algébrique de  $\sigma_m$  et  $\sigma_s$  indépendamment des sens de charge (voir figure 2, page 28, mais son point d'application est à considérer).

Le conducteur est supposé de supporter les forces résultant du court-circuit lorsque:

$$\sigma_{tot} \leq q R_{p0,2} \quad (11)$$

Il y a lieu de s'assurer que le court-circuit n'affecte pas trop la distance entre sous-conducteurs, sinon on recommande que

$$\sigma_s \leq R_{p0,2} \quad (12)$$

Le tableau III indique les valeurs acceptables les plus élevées de  $q$  pour différentes sections. Pour  $q > 1,0$ , de petites déformations permanentes peuvent se produire (de l'ordre de 1% de la distance entre supports pour les valeurs de  $q$  indiquées au tableau III) mais qui ne mettent pas la sécurité en cause.

*Note.* — Les normes indiquent souvent, pour la limite élastique des matériaux conducteurs,  $R_{p0,2}$ , une fourchette comprise entre des valeurs maximale et minimale. Si l'on ne dispose que de ces valeurs extrêmes, et non de la valeur vraie, on prendra la valeur minimale au paragraphe 6.2.1 et la valeur maximale au paragraphe 6.3.

### 6.2.2 *Module de section des principaux conducteurs composés de sous-conducteurs de section rectangulaire*

La contrainte de flexion et donc la tenue mécanique du conducteur dépendent du module de section.

Si la contrainte se produit conformément à la figure 2a), page 28, le module de section  $Z$  est égal à la somme des modules de section  $Z_s$  des sous-conducteurs ( $Z_s$  pris par rapport à l'axe x-x).

Si la contrainte se produit comme indiqué à la figure 2b) et s'il n'y a qu'un seul ou pas de raidisseur sur la distance entre supports adjacents, le module de section  $Z$  est égal à la somme des modules de section  $Z_s$  des sous-conducteurs ( $Z_s$  pris par rapport à l'axe y-y).

Si, sur la distance entre supports, il y a deux ou plusieurs raidisseurs, on peut prendre des valeurs plus élevées. Pour des conducteurs principaux constitués de sous-conducteurs de section rectangulaire avec un espace entre barres correspondant à l'épaisseur de celles-ci, on

where  $Z$  and  $Z_s$  are section moduli,  $V_\sigma$ ,  $V_{\sigma_s}$  and  $V_r$  are factors taking into account the dynamic phenomena and  $\beta$  is a correction factor depending on the type of supports, fixed or simple, and the number of supports.

The factor  $\beta$  is to be taken from Table II and  $V_\sigma$ ,  $V_{\sigma_s}$  and  $V_r$  from Figures 4 and 5, page 30.

The maximum possible values are  $V_\sigma = V_{\sigma_s} = 1$ .

In the case of three-phase auto-reclosure, the factor  $V_r = 1.8$  is to be applied, otherwise  $V_r = 1$ .

For further consideration see Sub-clause 6.4.

### 6.2.1 Permitted conductor stress

A single conductor is assumed to withstand the short-circuit forces when:

$$\sigma_m \leq q R_{p0.2} \quad (9)$$

where  $R_{p0.2}$  is the stress corresponding to the yield point.

The factor  $q$  is to be taken from Table III.

When a main conductor consists of two or more sub-conductors the total stress in the conductor is:

$$\sigma_{tot} = \sigma_m + \sigma_s \quad (10)$$

*Note.* —  $\sigma_{tot}$  is the algebraic sum of  $\sigma_m$  and  $\sigma_s$  independent of the loading directions (see Figure 2, page 28), but the location is to be considered.

The conductor is assumed to withstand the short-circuit forces when:

$$\sigma_{tot} \leq q R_{p0.2} \quad (11)$$

It is necessary to verify that the short-circuit does not affect the distance between sub-conductors too much, otherwise a value

$$\sigma_s \leq R_{p0.2} \quad (12)$$

is recommended.

In Table III the highest acceptable values for  $q$  for different cross-sections are given. For  $q > 1.0$  small permanent deformations may occur (approximately 1% of the distance between supports for  $q$ -values according to Table III) which do not jeopardize the safety of operation.

*Note.* — For the yield point of conductor materials,  $R_{p0.2}$ , the standards often state ranges with minimum and maximum values. If only such limit values rather than actual readings are available, the minimum value should be used in Sub-clause 6.2.1 and the maximum value in Sub-clause 6.3.

### 6.2.2 Section modulus of main conductors composed of sub-conductors with rectangular cross-section

The bending stress and consequently the mechanical withstand of the conductor depend on the section modulus.

If the stress occurs in accordance with Figure 2a), page 28, the section modulus  $Z$  is equal to the sum of the section moduli  $Z_s$  of the sub-conductors ( $Z_s$  with respect to the axis  $x-x$ ).

If the stress occurs in accordance with Figure 2b) and in the case there is only one or no stiffening element within a supported distance the section modulus  $Z$  is equal to the sum of the section moduli  $Z_s$  of the sub-conductors ( $Z_s$  with respect to the axis  $y-y$ ).

When within a supported distance there are two or more stiffening elements, higher values may be used. For main conductors composed of sub-conductors of rectangular cross-section with a space between the bars equal to the bar thickness, 60% of the section modulus with

peut adopter 60% du module de section calculé par rapport à l'axe 0-0. Pour des conducteurs constitués de trois sous-conducteurs ou plus, de section rectangulaire, et pour des groupes de conducteurs de section profilée, on peut prendre environ 50% du module de section calculé par rapport à l'axe 0-0. Voir le tableau IV.

### 6.3 Calcul des forces exercées sur les supports de conducteurs rigides

La force dynamique  $F_d$  se calcule à partir de:

$$F_d = V_F V_r \alpha F_m \quad (13)$$

où il convient de prendre pour valeur de  $F_m$  soit  $F_{m3}$  soit  $F_{m2}$ .

On peut estimer les valeurs maximales possibles de  $V_F \cdot V_r$  comme suit:

$$V_r \cdot V_F = 1 \quad \text{lorsque } \sigma_m + \sigma_s \geq 0,8 R_{p0,2}$$

$$V_r \cdot V_F = \frac{0,8 R_{p0,2}}{\sigma_m + \sigma_s} \quad \text{lorsque } \sigma_m + \sigma_s \leq 0,8 R_{p0,2}$$

La valeur de  $V_F \cdot V_r$  ne dépasse pas 2,7 sur court-circuit triphasé et 2 sur court-circuit biphasé.

Pour plus de détails, voir le paragraphe 6.4.

Le coefficient  $\alpha$  dépend du type et du nombre de supports et doit être pris au tableau II. Voir la note 2 du tableau II. Pour la charge autorisée sur l'isolateur, voir l'article 8.

### 6.4 Calcul tenant compte de l'oscillation des conducteurs

Les formules des paragraphes 6.2 et 6.3 donnent les contraintes de flexion et les efforts exercés sur les supports obtenus à partir du calcul d'une charge présumée statique. Pour tenir compte de la fréquence propre des conducteurs, on a introduit dans ces paragraphes les facteurs  $V_\sigma$ ,  $V_F$  et  $V_r$ . On y donne également des valeurs de  $V_\sigma$ ,  $V_F$  et  $V_r$  qui conduisent aux contraintes et efforts maximaux possibles.

#### 6.4.1 Calcul de la fréquence propre correspondante

La fréquence propre correspondante d'un conducteur pris isolément peut être calculée à partir de:

$$f_c = \frac{\gamma}{l^2} \sqrt{\frac{EJ}{m'}} \quad \text{Hz} \quad (14)$$

Le coefficient  $\gamma$  dépend du type et du nombre de supports et est donné au tableau II.

Pour un conducteur principal constitué de sous-conducteurs,  $J$  et  $m'$  se rapportent au conducteur principal. Si les sous-conducteurs sont de section rectangulaire, la fréquence propre correspondant au conducteur principal peut aussi se calculer par:

$$f_c = c f_o \quad (15)$$

où:

$$f_o = \frac{\gamma}{l^2} \sqrt{\frac{E J_s}{m'_s}} \quad \text{Hz} \quad (16)$$

Le coefficient  $c$  doit être pris sur les courbes des abaqués a) ou b) de la figure 3, page 29. Lorsqu'il n'y a pas de raidisseur  $c = 1$ .

Pour le calcul de la contrainte dans un sous-conducteur avec prise en compte de la fréquence propre correspondante, il convient d'utiliser la formule (14). Dans ce cas, remplacer  $l$  par  $l_s$ ,  $m'$  par  $m'_s$  et  $J$  par  $J_s$  et prendre  $\gamma = 0,356$ .

Note. — Les moments d'inertie  $J$  et  $J_s$  sont calculés conformément aux figures 2a) ou 2b), page 28.

respect to the axis 0-0 may be used. For conductor groups having profile cross-section, approximately 50% of the section modulus with respect to the axis 0-0 may be used. See Table IV.

### 6.3 Calculation of forces on supports of rigid conductors

The dynamic force  $F_d$  is to be calculated from:

$$F_d = V_F V_r \alpha F_m \quad (13)$$

where for  $F_m$  either the value  $F_{m3}$  or  $F_{m2}$  is to be used.

The maximum possible values of  $V_F \cdot V_r$  can be estimated as follows:

$$\begin{aligned} V_r \cdot V_F &= 1 && \text{when } \sigma_m + \sigma_s \geq 0.8 R_{p0.2} \\ V_r \cdot V_F &= \frac{0.8 R_{p0.2}}{\sigma_m + \sigma_s} && \text{when } \sigma_m + \sigma_s \leq 0.8 R_{p0.2} \end{aligned}$$

The value of  $V_F \cdot V_r$  is not higher than 2.7 for a three-phase short-circuit, and 2.0 for a two-phase short-circuit.

For further consideration see Sub-clause 6.4.

The factor  $\alpha$  is dependent on the kind and the number of supports and is to be taken from Table II. See Note 2 to Table II. Regarding permitted load on insulator, see Clause 8.

### 6.4 Calculation with special regard to conductor oscillation

The formulae in Sub-clauses 6.2 and 6.3 give bending stresses and forces on supports achieved from a calculation of a load which is assumed static. In Sub-clauses 6.2 and 6.3 three factors,  $V_\sigma$ ,  $V_F$  and  $V_r$  are introduced to take into account the natural frequency of the conductor. Some figures are also given for  $V_\sigma$ ,  $V_F$  and  $V_r$  which give the highest possible stresses and forces.

#### 6.4.1 Calculation of relevant natural frequency

The relevant natural frequency of a single conductor can be calculated from:

$$f_c = \frac{\gamma}{l^2} \sqrt{\frac{EJ}{m'}} \quad \text{Hz} \quad (14)$$

The factor  $\gamma$  is dependent on the kind and number of supports and is given in Table II.

For a main conductor composed of sub-conductors,  $J$  and  $m'$  must apply to the main conductor design. If the sub-conductors are of rectangular cross-section the relevant natural frequency of the main conductor can also be calculated as:

$$f_c = c f_0 \quad (15)$$

where:

$$f_0 = \frac{\gamma}{l^2} \sqrt{\frac{E J_s}{m'_s}} \quad \text{Hz} \quad (16)$$

The factor  $c$  is to be taken from graph *a*) or *b*) of Figure 3, page 29. In the case of no stiffening elements  $c = 1$ .

For the calculation of sub-conductor stress, taking the relevant natural frequency into account, the formula (14) is to be used. In this case replace  $l$  by  $l_s$ ,  $m'$  by  $m'_s$  and  $J$  by  $J_s$  and use  $\gamma = 0.356$ .

*Note.* — The second moments  $J$  and  $J_s$  are calculated according to Figures 2*a*) or 2*b*), page 28.

6.4.2 *Facteurs correctifs*  $V_F$ ,  $V_\sigma$ ,  $V_{\sigma s}$  et  $V_T$

Les facteurs  $V_F$ ,  $V_\sigma$ ,  $V_{\sigma s}$ , et  $V_T$ , en fonction du rapport  $f_c/f$  où  $f$  représente la fréquence du réseau, en hertz, diffèrent quelque peu lorsqu'il s'agit d'un court-circuit biphasé ou d'un court-circuit triphasé et dépendent également de l'amortissement mécanique du système de conducteurs. Dans les applications pratiques, on peut prendre pour les systèmes polyphasés les valeurs indiquées à la figure 4, page 30. Sont à exclure des structures à faible fréquence propre de conducteur, telle que  $f_c/f < 0,5$ , où  $\kappa < 1,6$ ; pour celles-ci, prendre  $V_F = V_\sigma = V_{\sigma s} = 1$ .

En cas de réenclenchement automatique triphasé, le facteur correctif  $V_T$  peut être pris à la figure 5, page 30; dans les autres cas  $V_T = 1$ .

7. **Calcul des tensions dans les conducteurs souples (conducteurs de ligne)**

Un courant de court-circuit survenant dans un conducteur souple y crée une tension mécanique dont les effets se répercutent sur les isolateurs, les structures de supports, et l'appareillage. Il y a lieu de distinguer entre la tension  $F_t$  s'exerçant pendant le court-circuit (décrite au paragraphe 7.1) et la tension  $F_f$  se produisant après le court-circuit, lorsque le conducteur revient dans sa position initiale (décrite au paragraphe 7.2). Pour déterminer la contrainte dynamique sur le support, on prend la plus grande des valeurs  $F_t$  ou  $F_f$ .

*Note.* — Lorsque la portée excède 20 m, l'utilisation des formules ci-après n'est pas recommandée.

7.1 *Tension*  $F_t$  *pendant le court-circuit*

La tension  $F_t$  est donnée par:

$$F_t = F_{st}(1 + \phi\psi) \quad \text{N} \quad (17)$$

où  $F_{st}$  est la tension statique dans le conducteur

$$\phi = 3 \left[ \sqrt{1 + \left( \frac{F'_0}{g_n m'} \right)^2} - 1 \right] \quad (18)$$

où  $g_n m'$  représente la masse par mètre de conducteur.

$F'_0$  est la force par mètre due au courant de court-circuit agissant sur le conducteur de phase extérieur et est donnée par:

$$F'_0 = 0,15 \frac{I_{k3}^2}{a} \quad \text{N/m} \quad (19)$$

où  $I_{k3}$  est le courant de court-circuit triphasé en kiloampères (valeur efficace) et  $a$ , en mètres, la distance entre axes des conducteurs.

Le coefficient  $\psi$  est fonction de  $\zeta$  et  $\phi$  et est donné à la figure 6, page 31.

$$\zeta = \frac{(m' l)^2}{F_{st}^3} \frac{400}{\frac{1}{10 S l} + \frac{100}{E A}} \quad (20)$$

$l$  = distance entre supports, en mètres

$S$  = raideur résultante des supports de deux conducteurs, en newtons par millimètre

$E$  = module de Young, en newtons par millimètre carré

$A$  = section carrée du conducteur, en millimètres carrés

Pour les isolateurs, raccords, etc., des éléments constitutifs de poste, on peut prendre  $S = 100 \text{ N/mm}$  à défaut de valeur plus précise.

#### 6.4.2 The factors $V_F$ , $V_G$ , $V_{GS}$ and $V_T$

The factors  $V_F$ ,  $V_G$ ,  $V_{GS}$  and  $V_T$  as functions of the ratio  $f_c/f$ , where  $f$  is the system frequency in hertz, are a little different if a two-phase short-circuit is concerned and they are also dependent on the mechanical damping of the conductor system. For practical calculations these factors can be taken from Figure 4, page 30, for a multi-phase system. Excepted are structures with small relevant natural frequencies of conductor  $f_c/f < 0.5$ , where  $\kappa < 1.6$ ; for these structures  $V_F = V_G = V_{GS} = 1$  is to be applied.

For three-phase auto-reclosure the factor  $V_T$  can be taken from Figure 5, page 30; in other cases  $V_T = 1$ .

### 7. Calculation of tensile forces in slack conductors (line conductors)

A short-circuit current in a slack conductor will cause a tensile force in the conductor which will affect insulators, support structures and apparatus. It is necessary to distinguish between the tensile force  $F_t$  during the short-circuit (described in Sub-clause 7.1) and the tensile force  $F_f$  after the short-circuit, when the conductor falls back to its initial position (described in Sub-clause 7.2). To determine the dynamic stress of the supports, the higher value  $F_t$  or  $F_f$  is to be used.

*Note.* — For span lengths exceeding 20 m the use of the following formulae is not recommended.

#### 7.1 Tensile force $F_t$ during the short-circuit

The force  $F_t$  is calculated with:

$$F_t = F_{st}(1 + \varphi\psi) \quad \text{N} \quad (17)$$

where  $F_{st}$  is the static tension in the conductor

$$\varphi = 3 \left[ \sqrt{1 + \left( \frac{F'_0}{g_n m'} \right)^2} - 1 \right] \quad (18)$$

where  $g_n m'$  is the mass of the conductor per metre.

$F'_0$  is the force per metre in the outer phase conductor produced by the short-circuit current and calculated according to

$$F'_0 = 0.15 \frac{I_{k3}^2}{a} \quad \text{N/m} \quad (19)$$

where  $I_{k3}$  is the three-phase short-circuit current in kiloamperes (r.m.s.) and  $a$ , in metres, the centre-line distance between conductors.

The factor  $\psi$  is a function of  $\zeta$  and  $\varphi$  and given in Figure 6, page 31.

$$\zeta = \frac{(m' l)^2}{F_{st}^3} \frac{400}{\frac{1}{10 S l} + \frac{100}{E A}} \quad (20)$$

$l$  = distance between supports, in metres

$S$  = resulting spring constant of two conductor supports in newtons per millimetre

$E$  = Young's modulus in newtons per square millimetre

$A$  = conductor square section in square millimetres

For insulators, clamps, etc., of station components the value  $S = 100 \text{ N/mm}$  may be used if no more accurate value is known.

### 7.2 Tension $F_f$ après le court-circuit (baisse de portée)

Cette tension n'est à considérer que si:

$$\frac{F'_0}{g_n m'} > 0,6 \quad (21)$$

Dans ce cas, on applique:

$$F_f = F_{st60} \sqrt{1 + \frac{4 F'_0}{g_n m'} \zeta} \quad \text{si } \frac{F'_0}{g_n m'} < 2 \quad (22)$$

$$F_f = F_{st60} \sqrt{1 + 8\zeta} \quad \text{si } \frac{F'_0}{g_n m'} \geq 2 \quad (23)$$

où  $F_{st60}$  est la tension statique du conducteur à la température de 60°C.

Notes 1. — Les fréquences de résonance des conducteurs souples étant basses, il n'y a normalement pas lieu de craindre une augmentation de la tension due à la résonance.

2. — Du fait du mouvement du conducteur la contrainte peut être inférieure à celle qui est donnée par les formules. On peut utiliser une contrainte plus faible lorsque cela peut être démontré par des calculs ou des essais.

3. — Dans le cas de faisceau double où les conducteurs unitaires se touchent effectivement, la tension  $F_t$  dépasse celle qui est calculée par la formule (17).

### 8. Charge admissible sur les supports isolants et les extrémités

La force dynamique  $F_d$  pour les conducteurs rigides et  $F_t$  et  $F_f$  pour les conducteurs souples ne doit pas être supérieure à la valeur de tenue assignée fournie par le fabricant de supports et d'isolateurs. Pour un isolateur la valeur assignée de tenue à la flexion est donnée pour une force s'exerçant sur la tête de l'isolateur. Pour une force de flexion s'exerçant en un point plus élevé que la tête de l'isolateur, il convient de retenir une valeur inférieure à la valeur assignée de tenue, conduisant à un moment que l'isolateur puisse supporter.

Les raccords de conducteurs rigides doivent être dimensionnés sur la base de  $F_d$ , alors que les raccords de conducteurs souples doivent l'être pour une valeur de crête de la force égale à  $1,5 F_t$  ou  $1,0 F_f$ .

Note. — Le coefficient 1,5 tient compte de l'effet des oscillations absorbées par la masse des isolateurs.

## SECTION DEUX — EFFETS THERMIQUES SUR LES CONDUCTEURS NUS

### 9. Généralités

Cette section décrit des méthodes de calcul des effets thermiques sur les conducteurs nus. Pour les câbles et conducteurs isolés, on se reportera aux travaux du Comité d'Etudes de la CEI concerné et de son Sous-Comité\*.

L'échauffement des conducteurs dû aux courants de court-circuit met en jeu certains phénomènes de caractère non linéaire et d'autres facteurs qu'il convient de négliger ou d'arrondir pour permettre une étude mathématique.

Aussi a-t-on retenu dans cette section les hypothèses suivantes:

- l'effet de proximité (influence magnétique de conducteurs parallèles proches) n'a pas été pris en compte,

\* Comité d'Etudes n° 20: Câbles électriques. Sous-Comité 20A: Câbles de haute tension.

### 7.2 Tensile force $F_f$ after the short-circuit (fall of span)

This force is only considered when:

$$\frac{F'_0}{g_n m'} > 0.6 \quad (21)$$

In this case is to be applied:

$$F_f = F_{st60} \sqrt{1 + \frac{4 F'_0}{g_n m'} \zeta} \quad \text{if } \frac{F'_0}{g_n m'} < 2 \quad (22)$$

$$F_f = F_{st60} \sqrt{1 + 8\zeta} \quad \text{if } \frac{F'_0}{g_n m'} \geq 2 \quad (23)$$

where  $F_{st60}$  is the static tension in the conductor at a conductor-temperature of 60°C.

- Notes 1. — The resonance frequencies of these flexible conductors are low, and higher forces due to resonance are not expected.
2. — Due to conductor motion the stress may be lower than given by the formulae. The use of lower stress is acceptable when it can be demonstrated either by calculation or by tests.
3. — In the case of twin-conductors where the single conductors touch each other effectively the tension force  $F_f$  is higher than in formula (17).

## 8. Permitted load on post insulators and terminals

The dynamic force  $F_d$  for rigid conductors and  $F_t$  and  $F_f$  for flexible conductors, shall not be higher than the rated withstand value given by the support and insulator manufacturer. For an insulator stressed by a bending force the rated withstand value is given for a force acting on the insulator head. For a force acting at a point higher than the insulator head, a value lower than the rated withstand value which gives a moment the insulator can withstand, is to be used.

Connectors of rigid conductors shall be rated on the basis of  $F_d$ , while connectors for flexible conductors shall be rated on the basis of force peaks of 1.5  $F_t$  or 1.0  $F_f$ .

Note. — The factor 1.5 takes into account the effect of oscillations absorbed by the mass of the insulators.

## SECTION TWO — THE THERMAL EFFECT ON BARE CONDUCTORS

### 9. General

This section gives calculation methods for the thermal effect on bare conductors. For cables and insulated conductors reference is given to the appropriate IEC Technical Committee and Sub-Committee\*.

The heating of conductors due to short-circuit currents involves several phenomena of a non-linear character and other factors that have to be either neglected or approximated in order to make a mathematical approach possible.

For the purpose of this section the following assumptions have been made:

- Proximity-effect (magnetic influence of nearby parallel conductors) has been disregarded.

\* Technical Committee No. 20: Electric Cables. Sub-Committee 20A: High-voltage Cables.

- la caractéristique température/résistance a été supposée linéaire,
- la chaleur spécifique du conducteur a été supposée constante,
- l'échauffement a été considéré comme adiabatique.

## 10. Calcul de l'échauffement

### 10.1 Généralités

L'évacuation de la chaleur dissipée au sein d'un conducteur lors d'un court-circuit est très lente et l'échauffement peut généralement être considéré comme adiabatique. Les calculs présentés dans cette section reposent sur cette hypothèse.

Lors de courts-circuits répétés, séparés par de courts intervalles de temps (réenclenchement automatique rapide), le refroidissement dans le court temps mort est relativement faible et le régime thermique peut toujours être considéré comme adiabatique. Lorsque le temps mort est de plus longue durée (réenclenchement automatique lent) il est possible de tenir compte de la chaleur évacuée.

Les calculs ne prennent pas en compte l'effet de peau, ce qui signifie que le courant est considéré comme uniformément réparti dans toute la section de conducteur. Cette approximation n'est pas valable pour les fortes sections, au-delà de 600 mm<sup>2</sup>, pour lesquelles l'effet de peau doit être pris en considération. Pour les calculs se reporter aux publications existantes.

*Note.* — Si un conducteur principal est constitué de sous-conducteurs, la répartition non uniforme du courant entre les sous-conducteurs aura une influence sur leurs échauffements.

### 10.2 Calcul du courant de court-circuit thermique équivalent

Le courant de court-circuit thermique équivalent doit être calculé à partir de la valeur efficace du courant de court-circuit et des coefficients  $m$  et  $n$  relatifs aux effets thermiques en fonction du temps des composantes continue et alternative du courant de court circuit.

Le courant de court-circuit thermique équivalent peut s'exprimer par:

$$I_{th} = I_k' \sqrt{m + n} \quad (24)$$

où  $m$  et  $n$  sont des coefficients numériques,  $I_k'$  la valeur efficace du courant de court-circuit symétrique initial; dans un réseau triphasé, le court-circuit triphasé symétrique est décisif. Les valeurs de  $m$  et  $n$  sont indiquées à la figure 7, page 32, en fonction de la durée du courant de court-circuit. Pour un réseau de distribution, généralement  $n = 1$ .

*Note.* — Le rapport  $I_k'/I_k$  dépend des impédances entre l'endroit du court-circuit et la source.

Lorsque plusieurs courts-circuits se produisent à intervalles rapprochés, le courant de court-circuit thermique équivalent résultant est donné par:

$$I_{th} = \sqrt{\frac{1}{T_k} \sum_{i=1}^n I_{thi}^2 T_{ki}} \quad (25)$$

où:

$$T_k = \sum_{i=1}^n T_{ki} \quad (26)$$

### 10.3 Calcul de l'échauffement et de la densité de courant assignée de courte durée des conducteurs

L'échauffement causé par un court-circuit dans un conducteur est fonction de la durée du courant de court-circuit, de la valeur du courant de court-circuit thermique équivalent et du matériau constitutif du conducteur.

En utilisant les diagrammes de la figure 8, page 33, on peut calculer l'échauffement d'un conducteur lorsque la densité de courant de courte durée est connue ou vice-versa.

- Resistance-temperature characteristic has been assumed linear.
- The specific heat of the conductor is considered constant.
- The heating is generally considered adiabatic.

## 10. Calculation of temperature rise

### 10.1 General

The loss of heat from a conductor during the short-circuit is very low, and the heating can generally be considered adiabatic. The calculation in this section is based on adiabatic conditions.

When repeated short-circuits occur with a short-time interval between them (i.e. rapid auto-reclosure) the cooling down in the short dead-time is of relatively low importance, and the heating can still be considered adiabatic. In cases where the dead-time interval is of longer duration (i.e. delayed auto-reclosure) the heat loss may be taken into account.

The calculation does not take into account the skin effect, i.e. the current is regarded as evenly distributed over the conductor cross-section area. This approximation is not valid for large cross-sections, and therefore for cross-sections above 600 mm<sup>2</sup> the skin effect shall be taken into account. For calculation, refer to the literature.

*Note.* — If the main conductor is composed of sub-conductors, uneven current distribution between the sub-conductors will influence the temperature rise of sub-conductors.

### 10.2 Calculation of thermal equivalent short-circuit current

The thermal equivalent short-circuit current is to be calculated using the short-circuit current r.m.s. value and the factors  $m$  and  $n$  for the time-dependent heat effects of the d.c. and a.c. components of the short-circuit current.

The thermal equivalent short-circuit current can be expressed by:

$$I_{th} = I_k'' \sqrt{m + n} \quad (24)$$

where  $m$  and  $n$  are numerical factors,  $I_k''$  the r.m.s. value of the initial symmetrical short-circuit current; in a three-phase system, the balanced three-phase short-circuit is decisive. The values  $m$  and  $n$  are shown in Figure 7, page 32, as functions of the duration of the short-circuit current. For a distribution network usually  $n = 1$ .

*Note.* — The relation  $I_k''/I_k$  is dependent on the impedance between the short-circuit and the source.

When a number of short-circuits occur with a short time interval in between, the resulting thermal equivalent short-circuit current is obtained from:

$$I_{th} = \sqrt{\frac{1}{T_k} \sum_{i=1}^n I_{thi}^2 T_{ki}} \quad (25)$$

where:

$$T_k = \sum_{i=1}^n T_{ki} \quad (26)$$

### 10.3 Calculation of temperature rise and rated short-time current density for conductors

The temperature rise in a conductor caused by a short-circuit is a function of the duration of the short-circuit current, the thermal equivalent short-circuit current and the conductor material.

By use of the graphs in Figure 8, page 33, it is possible to calculate the temperature rise of a conductor when the short-time current density is known or vice versa.

Les valeurs recommandées de température maximale de courte durée sont données au tableau V pour différents types de conducteurs.

*Note.* — Il y a lieu de tenir compte de la température maximale admise au support.

#### 10.4 Détermination de la tenue thermique en court-circuit pour différentes durées du courant de court-circuit

Du point de vue thermique, le matériel électrique est réputé tenir le court-circuit tant que le courant de court-circuit thermique équivalent  $I_{th}$  satisfait aux relations suivantes:

$$I_{th} \leq I_{thr} \quad \text{pour } T_k \leq T_{kr} \quad (27a)$$

ou

$$I_{th} \leq I_{thr} \sqrt{\frac{T_{kr}}{T_k}} \quad \text{pour } T_k \geq T_{kr} \quad (27b)$$

où  $I_{thr}$  représente le courant de court-circuit assigné et  $T_{kr}$  la courte durée assignée.

De même, du point de vue thermique, les conducteurs nus sont réputés tenir le court-circuit tant que la densité de courant de court-circuit thermique équivalent  $S_{th}$  satisfait à la relation suivante:

$$S_{th} \leq S_{thr} \sqrt{\frac{T_{kr}}{T_k}} \quad (28)$$

pour toute valeur de  $T_k$  et pour  $T_{kr} = 1$  s.

La densité de courant assignée de courte durée  $S_{thr}$  est indiquée à la figure 8, page 33.

The highest recommended short-time temperature for different conductors is given in Table V.

*Note.* — The maximum permitted temperature of the support has to be taken into account.

#### 10.4 Calculation of the thermal short-circuit strength for different durations of the short-circuit current

Electrical equipment has sufficient thermal short-circuit strength as long as the following relations hold for the thermal equivalent short-circuit current  $I_{th}$ :

$$I_{th} \leq I_{thr} \quad \text{for } T_k \leq T_{kr} \quad (27a)$$

or

$$I_{th} \leq I_{thr} \sqrt{\frac{T_{kr}}{T_k}} \quad \text{for } T_k \geq T_{kr} \quad (27b)$$

where  $I_{thr}$  is the rated short-time current and  $T_{kr}$  the rated short-time.

The thermal short-circuit strength for bare conductors is sufficient when the thermal equivalent short-circuit current density  $S_{th}$  satisfies the following relation:

$$S_{th} \leq S_{thr} \sqrt{\frac{T_{kr}}{T_k}} \quad (28)$$

with  $T_{kr} = 1$  s and for all  $T_k$ .

The rated short-time current density  $S_{thr}$  is shown in Figure 8, page 33.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60865-1:1986

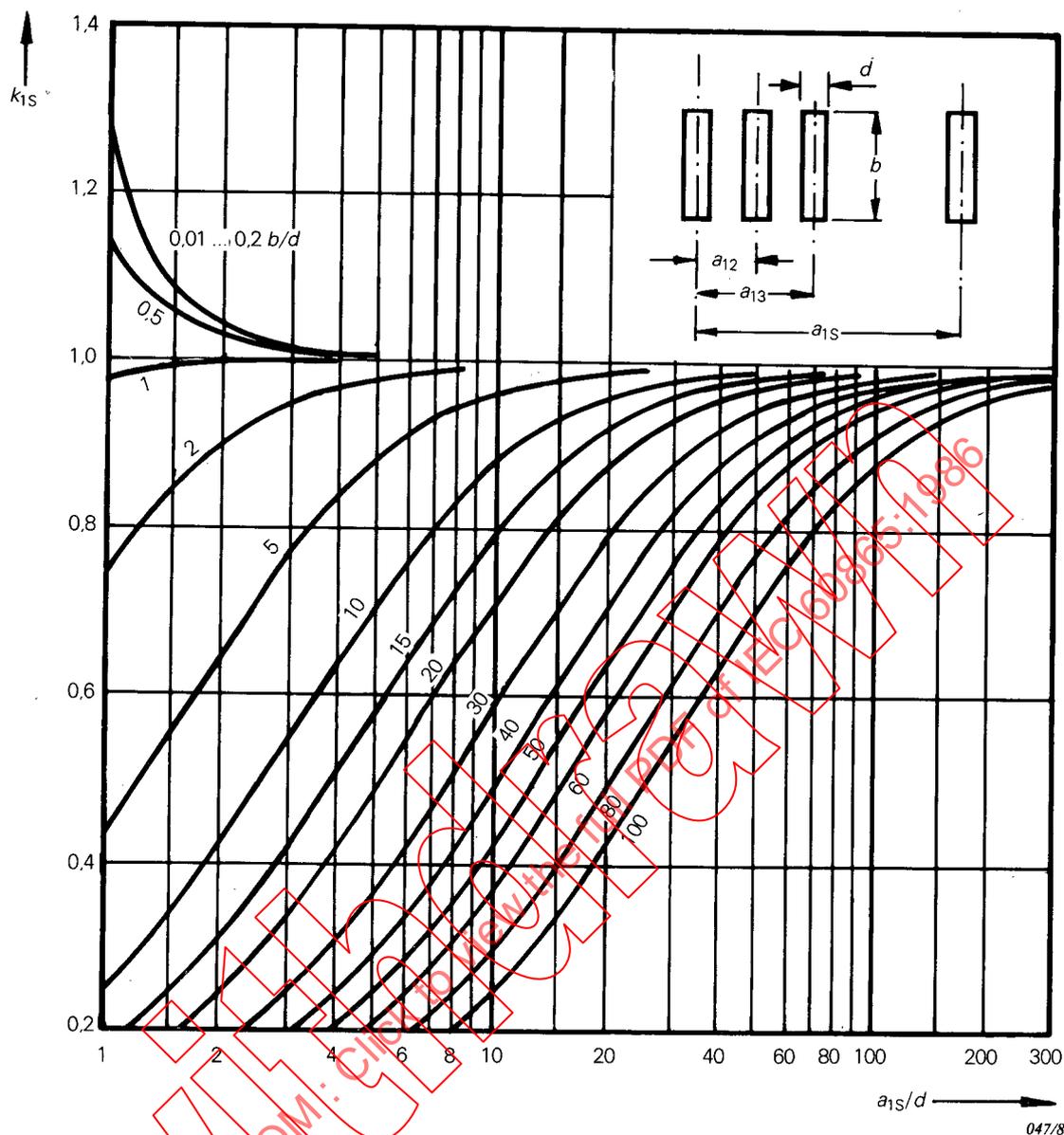


FIG. 1. — Coefficients  $k_{1s}$  relatif à la distance effective entre axes de conducteurs  $a_s$ .  
Factor  $k_{1s}$  for effective conductor central distance  $a_s$ .

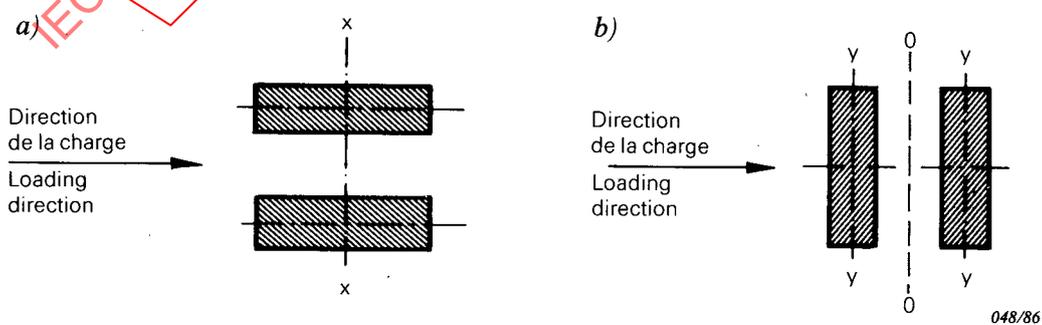


FIG. 2. — Direction de la charge et axe de flexion pour différentes dispositions de conducteurs.  
Loading direction and bending axis with multiple conductor arrangements.

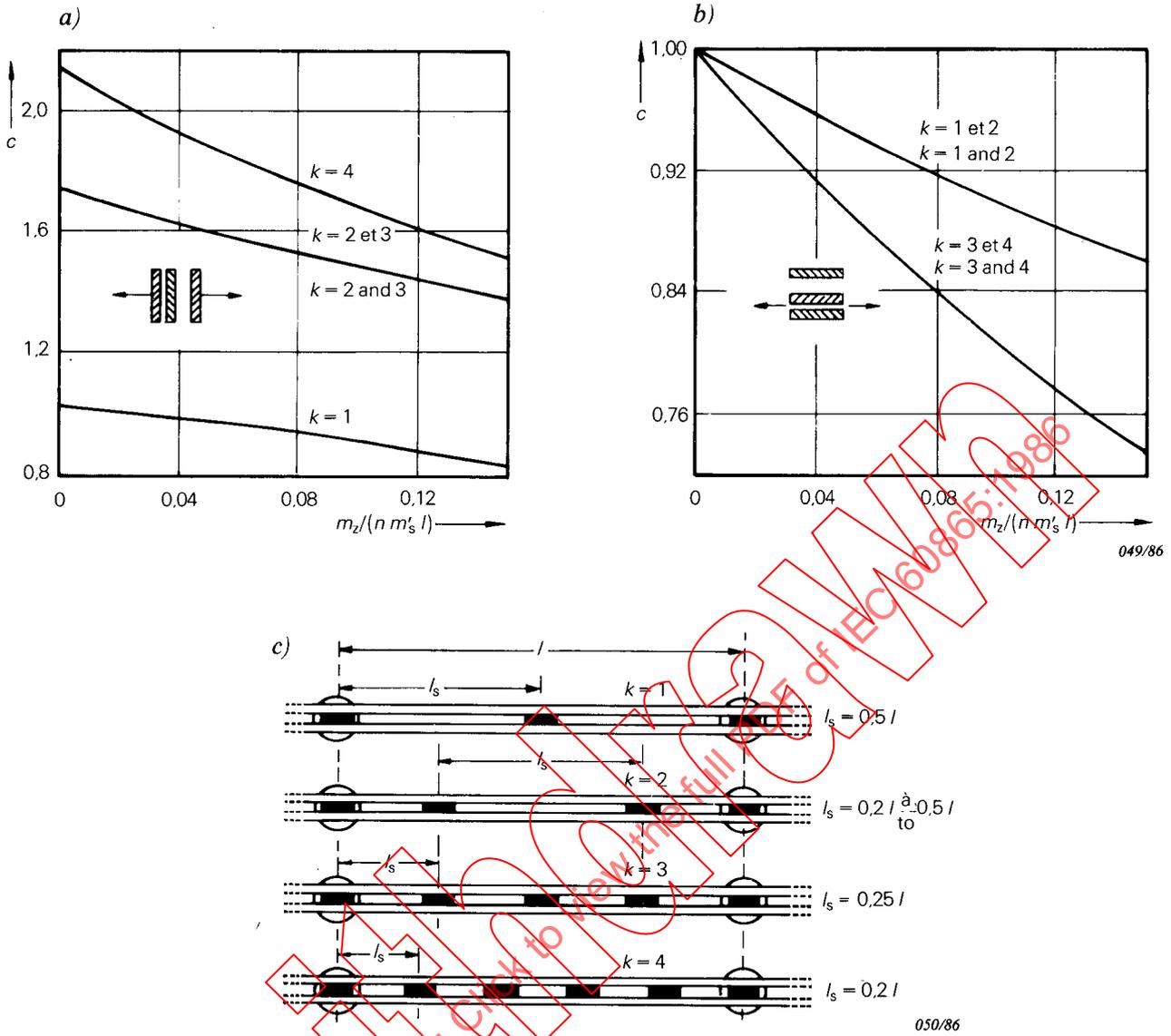


FIG. 3. — Coefficient  $c$  relatif à l'influence des entretoises ou raidisseurs (formule 15).  
 a) oscillations perpendiculaires à la surface avec  $k$ , nombre de raidisseurs;  
 b) vibrations en tous sens, avec  $k$  nombre d'entretoises ou vibrations parallèles à la surface, avec  $k$  nombre de raidisseurs;  
 c) disposition des raidisseurs ou entretoises.

Factor  $c$  for the influence of spacers or stiffening elements in formula (15).  
 a) direction of oscillation vertical to the surface, with  $k$  number of stiffening elements;  
 b) vibration in any direction with  $k$  number of spacers or direction of vibration along the surface with  $k$  number of stiffening elements;  
 c) arrangement of stiffening elements or spacers.

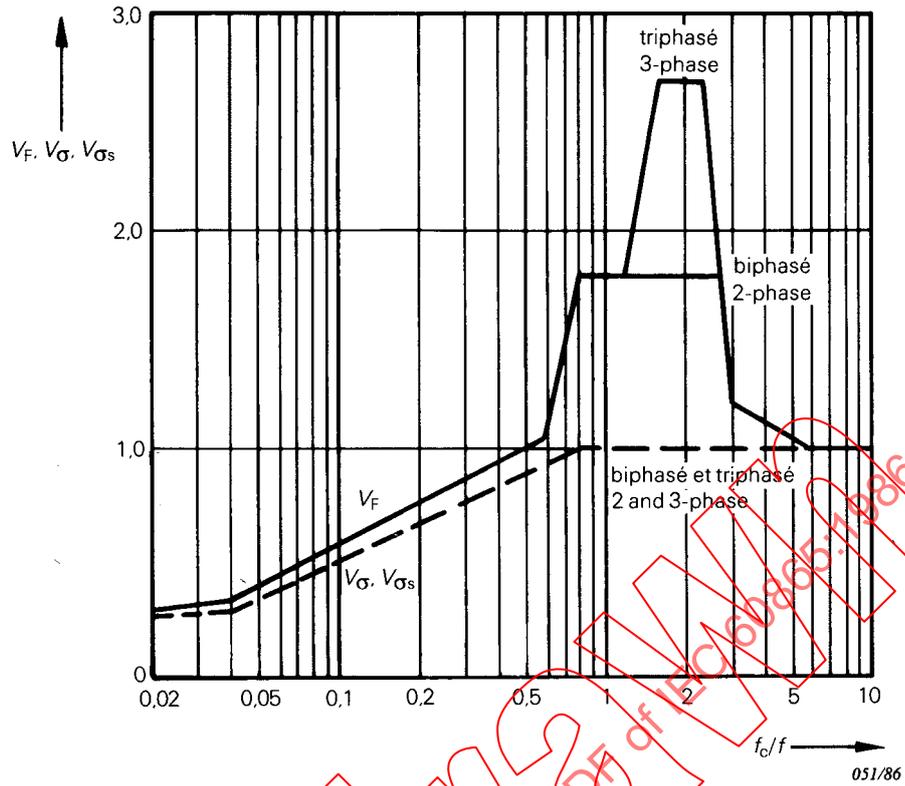


FIG. 4. — Coefficients  $V_F$ ,  $V_\sigma$  et  $V_{\sigma s}$  à utiliser lors de courts-circuits biphasés et triphasés; à l'exception des cas où  $f_c/f < 0,5$  pour lesquels  $\kappa < 1.6$ .

Factors  $V_F$ ,  $V_\sigma$  and  $V_{\sigma s}$  to be used with the two-phase and three-phase short-circuits; except arrangements with  $f_c/f < 0.5$  in which  $\kappa < 1.6$ .

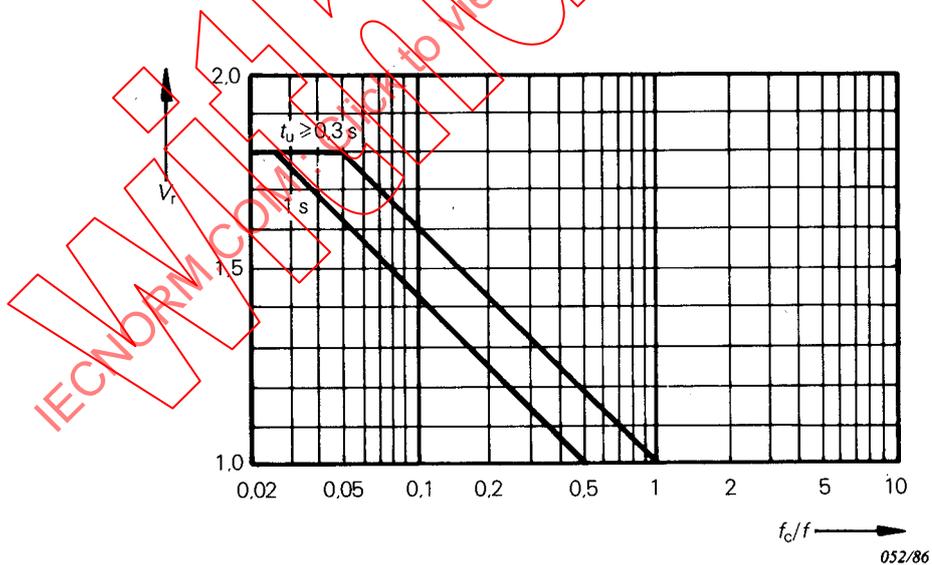


FIG. 5. — Coefficient  $V_r$  à utiliser en cas de réenclenchement automatique triphasé.

Factor  $V_r$  to be used with three-phase auto-reclosure.

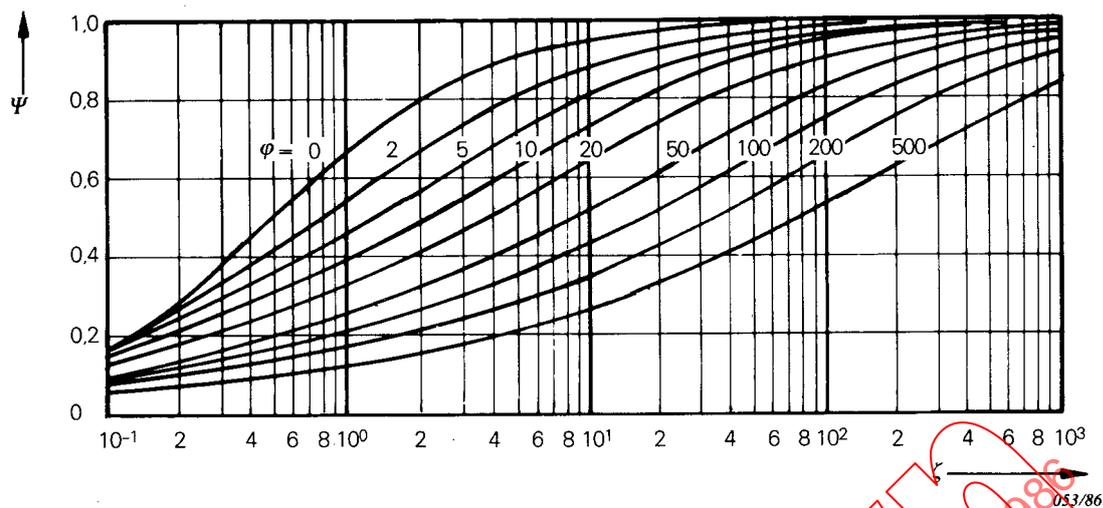


FIG. 6. — Coefficient  $\psi$  relatif à la tension dans les conducteurs souples. La relation entre les coefficients  $\psi$ ,  $\zeta$  et  $\varphi$  est donnée par:

$$\zeta = \frac{(1 + \varphi \psi)^2}{2 + \varphi + \varphi \psi} \cdot \frac{\psi}{1 - \psi}$$

Factor  $\psi$  for tensile force in flexible conductors. The connection between the factors  $\psi$ ,  $\zeta$  and  $\varphi$  is given by:

$$\zeta = \frac{(1 + \varphi \psi)^2}{2 + \varphi + \varphi \psi} \cdot \frac{\psi}{1 - \psi}$$

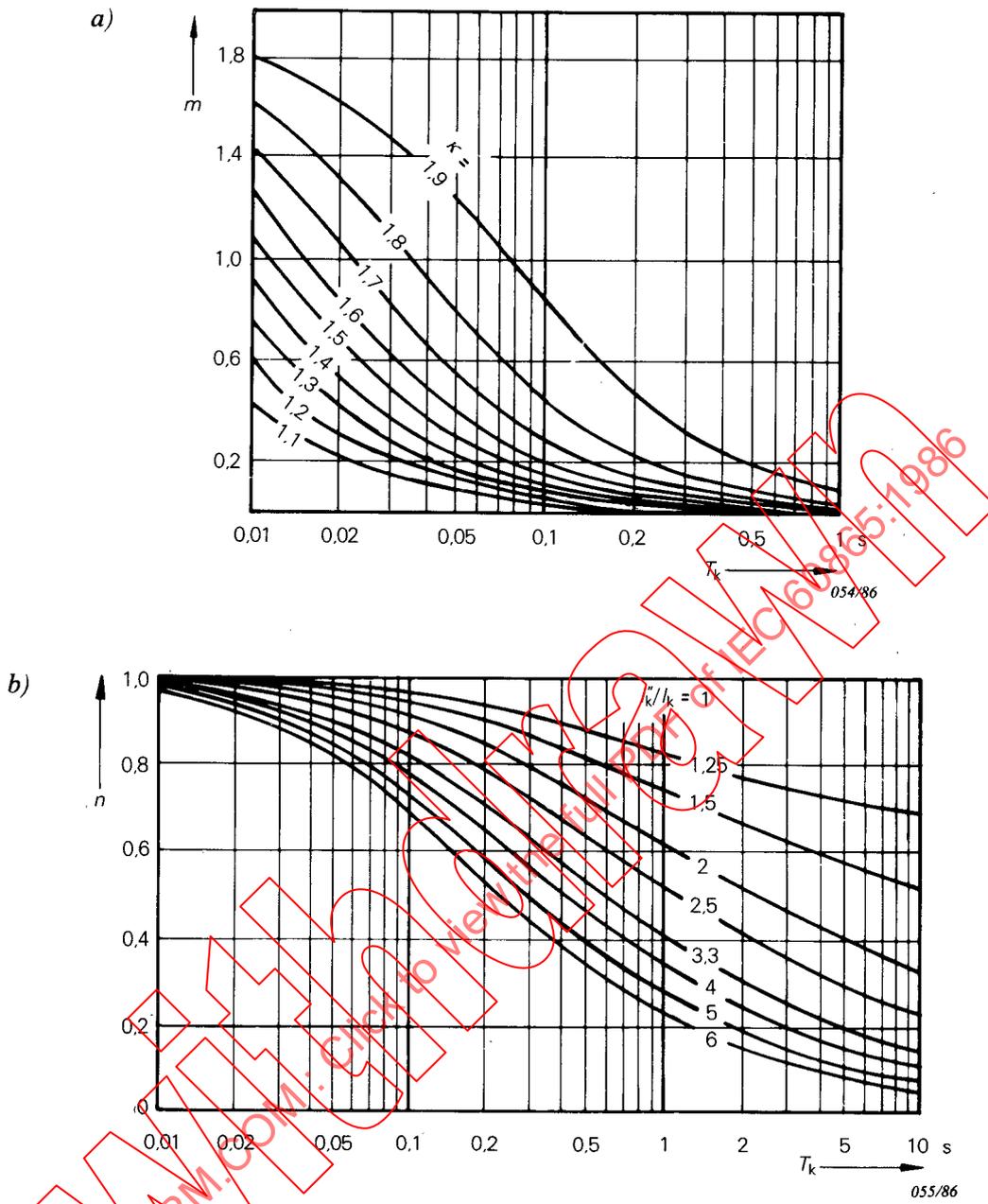


FIG. 7. — a) Coefficient  $m$  de dissipation de chaleur relatif à la composante continue du courant.  
b) Coefficient  $n$  de dissipation de chaleur relatif à la composante alternative du courant.  
a) Factor  $m$ , heat dissipation due to d.c. component.  
b) Factor  $n$ , heat dissipation due to a.c. component.

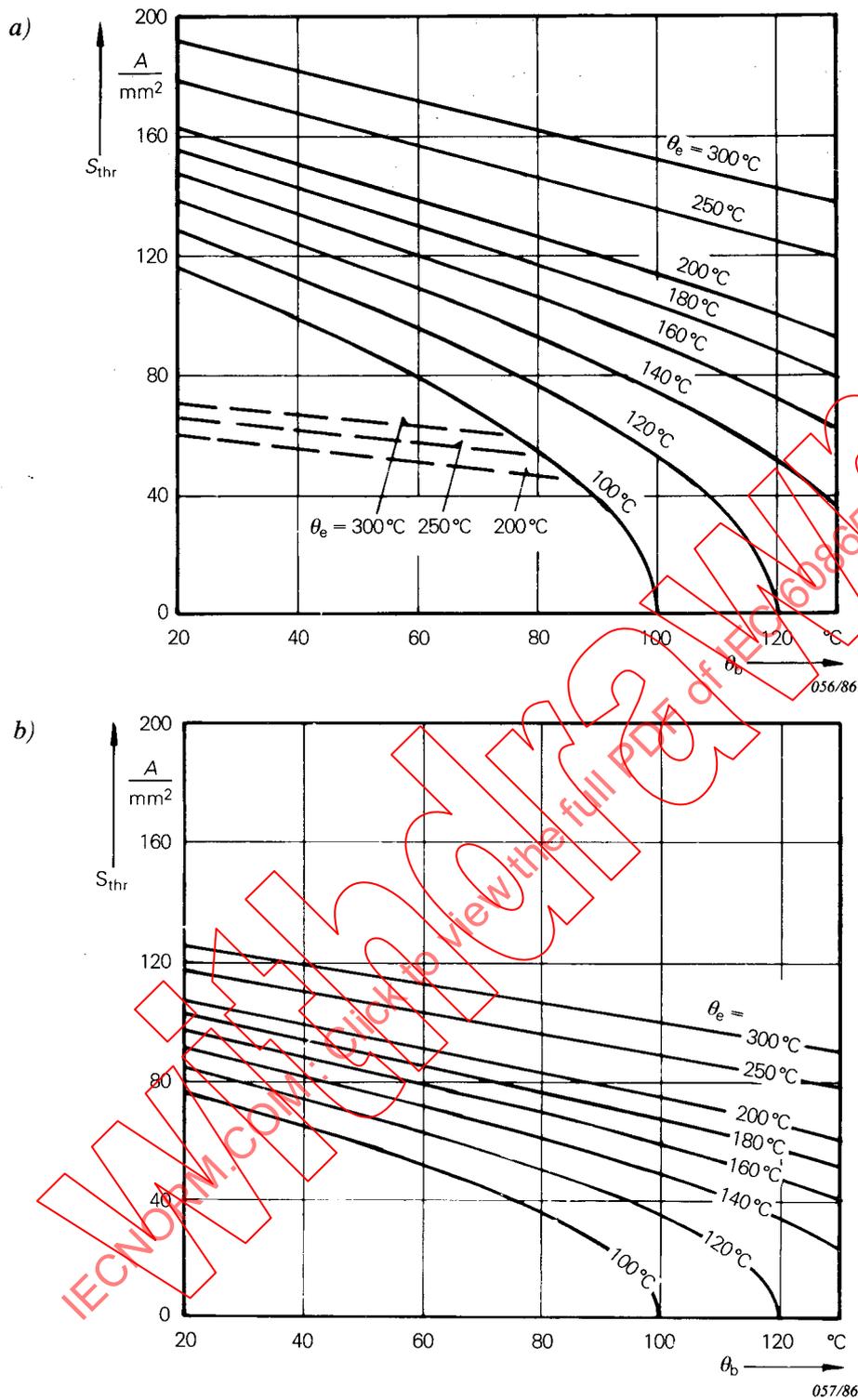


FIG. 8. — Relation entre la densité de courant assignée de courte durée ( $T_{kr} = 1$  s) et la température du conducteur.

a) Traits pleins: cuivre

Pointillés: plats d'acier non allié et câbles d'acier.

b) Aluminium, alliages d'aluminium et aluminium acier (ACSR).

Relation between rated short-time current density ( $T_{kr} = 1$  s) and conductor temperature.

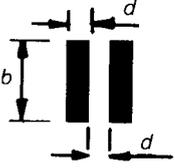
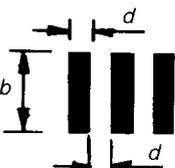
a) Full lines: Copper

Dotted lines: Flat product of unalloyed steel and steel cables.

b) Aluminium, aluminium alloy, aluminium conductor steel reinforced (ACSR).

TABLEAU I

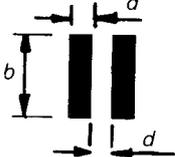
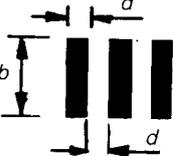
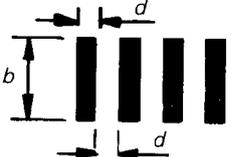
Distance effective entre axes de conducteurs  $a_s$  en mètres, pour des sections rectangulaires

Section rectangulaires	$d \backslash b$	0,04	0,05	0,06	0,08	0,10	0,12	0,16	0,20
	0,005 0,010	0,020 0,028	0,024 0,031	0,027 0,034	0,033 0,041	0,040 0,047	— 0,054	— 0,067	— 0,080
	0,005 0,010	— 0,017	0,013 0,019	0,015 0,020	0,018 0,023	0,022 0,027	— 0,030	— 0,037	— 0,043
	0,005 0,010	— 0,014	— 0,015	— 0,016	— 0,018	— 0,020	— 0,022	— 0,026	— 0,031

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 602865:1986

TABLE I

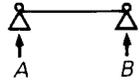
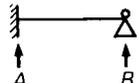
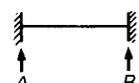
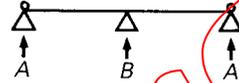
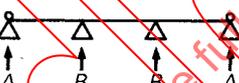
Effective conductor central distance  $a_s$  in metres, for rectangular section dimensions

Rectangular sections	$d$ \ $b$		0.04	0.05	0.06	0.08	0.10	0.12	0.16	0.20
		0.005 0.010		0.020 0.028	0.024 0.031	0.027 0.034	0.033 0.041	0.040 0.047	— 0.054	— 0.067
	0.005 0.010		— 0.017	0.013 0.019	0.015 0.020	0.018 0.023	0.022 0.027	— 0.030	— 0.037	— 0.043
	0.005 0.010		— 0.014	— 0.015	— 0.016	— 0.018	— 0.020	— 0.022	— 0.026	— 0.031

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60865:1986

TABLEAU II

Coefficients  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$  pour différentes dispositions de supports

Type de poutres et de supports		Coefficient $\alpha$	Coefficient $\beta$	Coefficient $\gamma$
Poutre à une portée	A et B supports simples 	A: 0,5 B: 0,5	1,0	0,157
	A: support encastré B: support simple 	A: 0,625 B: 0,375	0,73	0,245
	A et B: supports encastrés 	A: 0,5 B: 0,5	0,5	0,356
Poutres continues avec supports simples équidistants	deux portées 	A: 0,375 B: 1,25	0,73	0,245
	trois portées et plus 	A: 0,4 B: 1,1	0,73	0,356

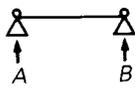
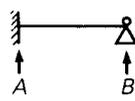
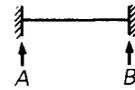
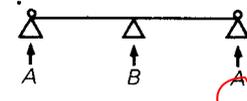
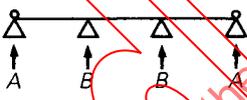
Notes 1. — Les portées inégales dans les poutres continues peuvent être considérées, avec un degré de précision suffisant, comme si la portée maximale s'appliquait partout, ce qui signifie:

- que les supports d'extrémité ne sont pas soumis à une contrainte plus forte que les supports intermédiaires,
- qu'il faudrait éviter l'usage de portées adjacentes de longueur différant de plus de 20%. Si cela ne s'avère pas possible, les conducteurs peuvent être découplés en utilisant des joints souples.

2. — Les valeurs de  $\beta$  sont déterminées en admettant une certaine déformation plastique et sont choisies de manière que la même valeur de  $q$  (voir paragraphe 6.2.1 et tableau III) puisse être utilisée pour toutes les dispositions conducteur-support.

TABLE II

The factors  $\alpha$ ,  $\beta$  and  $\gamma$  for different support arrangements

Type of beam and supports		Factor $\alpha$	Factor $\beta$	Factor $\gamma$
Single span beam	A and B simple supports 	A: 0.5 B: 0.5	1.0	0.157
	A: fixed support B: simple support 	A: 0.625 B: 0.375	0.73	0.245
	A and B: fixed supports 	A: 0.5 B: 0.5	0.5	0.356
Continuous beams with equidistant simple supports	Two spans 	A: 0.375 B: 1.25	0.73	0.245
	Three or more spans 	A: 0.4 B: 1.1	0.73	0.356

Notes 1. — Non-uniform span in continuous beams may be treated, with a sufficient degree of accuracy, as though the maximum span applied throughout. This means that:

- the end supports are not subjected to greater stress than the inner ones;
- spans should not differ in length from adjacent ones by more than 20%. If that does not prove to be possible, the conductors can be decoupled using flexible joints;

2. — The  $\beta$ -values are so calculated that a permissible plastic deformation occurs. They are so chosen that the same  $q$ -value (see Sub-clause 6.2.1 and Table III) can be used for all conductor-support arrangements.

TABLEAU III

Valeurs acceptables de  $q$  pour différentes sections de conducteur

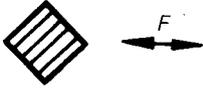
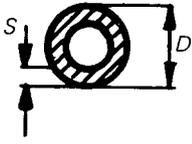
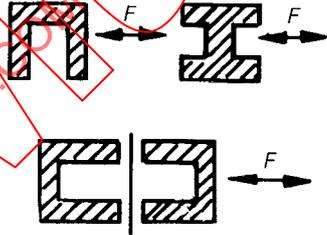
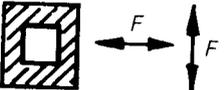
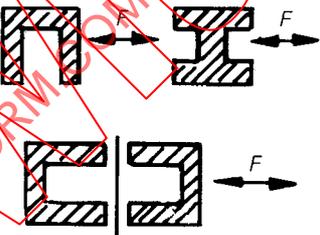
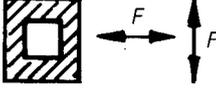
Sections de conducteur	$q$
	2,00
	1,70
	$\left(\frac{S}{D} = 0,05\right), 1,34$ $(= 0,075), 1,37$ $(= 0,100), 1,40$ $(= 0,125), 1,44$ $(= 0,160), 1,48$ $(= 0,200), 1,51$
	1,83
	1,50
	1,19
	1,13

TABLE III  
Acceptable *q*-values for different cross-sections

Cross-sections	<i>q</i>
	2.00
	1.70
	$\left(\frac{S}{D} = 0.05\right), 1.34$ $( = 0.075), 1.37$ $( = 0.100), 1.40$ $( = 0.125), 1.44$ $( = 0.160), 1.48$ $( = 0.200), 1.51$
	1.83
	1.50
	1.19
	1.13