

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_f 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:

Règle 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 ²
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 ²
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_t	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'_o	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_o	Fréquence de base	Hz
g_n	Valeur conventionnelle de l'accélération de la pesanteur	m/s ²
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 ⁴
J_s	Moment d'inertie de la section d'un sous-conducteur	cm ⁴
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 ²
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 ²
a	Centre-line distance between conductors	m
a_s	Effective conductor central distance, see Table I	m
a_{ls}	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 ²
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 ²
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 ⁴
J_s	Second moment of sub-conductor area	cm ⁴
k	Number of spacers or stiffening elements, see Figure 3	
k_{ls}	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 ²
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_σ	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 ³
Z_s	Module de section d'un sous-conducteur	cm ³
α	Coefficient relatif à la force exercée sur le support, voir tableau II	
β	Coefficient relatif à la contrainte sur conducteur principal, voir tableau II	
γ	Coefficient relatif à la valeur estimée de la fréquence propre, voir tableau II	
κ	Coefficient relatif à la valeur de crête du courant du court-circuit	
ζ, φ, ψ	Coefficients relatifs à la tension dans les conducteurs souples, voir figure 6, page 31	
σ_m	Contrainte de flexion sur conducteur principal	N/mm ²
σ_σ	Contrainte de flexion sur sous-conducteur	N/mm ²
σ_{tot}	Contrainte résultante sur conducteur	N/mm ²

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 ²
S_{thr}	Densité de courant assignée de courte durée (valeur efficace) pendant 1 s	A/mm ²
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
θ_b	Température du conducteur en début de court-circuit	°C
θ_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 ³
Z_s	Section modulus for sub-conductor	cm ³
α	Factor for force on support, see Table II	
β	Factor for main conductor stress, see Table II	
γ	Factor for natural frequency estimation, see Table II	
κ	Factor for peak short-circuit current	
ζ, φ, ψ	Factors for tensile force in flexible conductor, see Figure 6, page 31	
σ_m	Bending stress in main conductor	N/mm ²
σ_s	Bending stress in sub-conductor	N/mm ²
σ_{tot}	Resulting conductor stress	N/mm ²

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 ²
S_{thr}	Rated short-time current density (r.m.s.) for 1 s	A/mm ²
T_k	Short-circuit duration	s
T_{ki}	Individual short-circuit duration at repeated short-circuits	s
T_{kr}	Rated short-time	s
θ_b	Conductor temperature at the beginning of a short-circuit	°C
θ_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 1 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:

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

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

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

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 encastrés 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:

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

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:

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