

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
909-3**

Première édition
First edition
1995-09

**Calcul des courants de court-circuit dans
les réseaux triphasés à courant alternatif –**

Partie 3:

Courants durant deux court-circuits monophasés
simultanés séparés à la terre et
courants de court-circuit partiels s'écoulant
à travers la terre

**Short-circuit current calculation
in three-phase a.c. systems –**

Part 3:

Currents during two separate simultaneous
single phase line-to-earth short circuits and
partial short-circuit currents flowing through earth



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 909-3: 1995

Validité de la présente publication

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

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles auprès du Bureau Central de la CEI.

Les renseignements relatifs à ces révisions, à l'établissement des éditions révisées et aux amendements peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et dans les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la CEI**
- **Annuaire de la CEI**
Publié annuellement
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement

Terminologie

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 50: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI), qui se présente sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini. Des détails complets sur le VEI peuvent être obtenus sur demande. Voir également le dictionnaire multilingue de la CEI.

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

Symboles graphiques et littéraux

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

- la CEI 27: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*;
- la CEI 417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*;
- la CEI 617: *Symboles graphiques pour schémas*;

et pour les appareils électromédicaux,

- la CEI 878: *Symboles graphiques pour équipements électriques en pratique médicale*.

Les symboles et signes contenus dans la présente publication ont été soit tirés de la CEI 27, de la CEI 417, de la CEI 617 et/ou de la CEI 878, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Publications de la CEI établies par le même comité d'études

L'attention du lecteur est attirée sur les listes figurant à la fin de cette publication, qui énumèrent les publications de la CEI préparées par le comité d'études qui a établi la présente publication.

Validity 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 relating to the date of the reconfirmation of the publication is available from the IEC Central Office.

Information on the revision work, the issue of revised editions and amendments may be obtained from IEC National Committees and from the following IEC sources:

- **IEC Bulletin**
- **IEC Yearbook**
Published yearly
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates

Terminology

For general terminology, readers are referred to IEC 50: *International Electrotechnical Vocabulary (IEV)*, which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field. Full details of the IEV will be supplied on request. See also the IEC Multilingual Dictionary.

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 publications:

- IEC 27: *Letter symbols to be used in electrical technology*;
- IEC 417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets*;
- IEC 617: *Graphical symbols for diagrams*;

and for medical electrical equipment,

- IEC 878: *Graphical symbols for electromedical equipment in medical practice*.

The symbols and signs contained in the present publication have either been taken from IEC 27, IEC 417, IEC 617 and/or IEC 878, 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 end pages of this publication which list the IEC publications issued by the technical committee which has prepared the present publication.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
909-3**

Première édition
First edition
1995-09

**Calcul des courants de court-circuit dans
les réseaux triphasés à courant alternatif –**

Partie 3:

Courants durant deux court-circuits monophasés
simultanés séparés à la terre et
courants de court-circuit partiels s'écoulant
à travers la terre

**Short-circuit current calculation
in three-phase a.c. systems –**

Part 3:

Currents during two separate simultaneous
single phase line-to-earth short circuits and
partial short-circuit currents flowing through earth

© CEI 1995 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 pro-
cédé, 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



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

U

Pour prix, voir catalogue en vigueur
For price, see current catalogue

AVA Documents
Document Sharing Hub

SOMMAIRE

		Pages
AVANT-PROPOS		4
Articles		
Section 1: Généralités		
1.1	Domaine d'application	6
1.2	Références normatives	8
1.3	Définitions	8
1.3.1	Deux court-circuits monophasés simultanés séparés à la terre	8
1.3.2	Courant initial durant deux court-circuits monophasés simultanés séparés à la terre I''_{KEE}	8
1.3.3	Courant à la terre total I_{Etot} à l'emplacement du court-circuit	8
1.3.4	Courant de court-circuit partiel à travers la terre $I_{(0)}$	10
1.3.5	Facteur de réduction d'une ligne r	10
1.3.6	Impédance d'entrée Z_p	10
1.4	Symboles	12
Section 2: Courants durant deux court-circuits monophasés simultanés séparés à la terre		
2.1	Méthode de calcul	14
2.1.1	Courant de court-circuit symétrique initial	14
2.1.2	Valeur de crête du courant de court-circuit, courant de court-circuit symétrique coupé et courant de court-circuit permanent	18
2.1.3	Répartition des courants de court-circuits à la terre pendant deux courants de court-circuits monophasés simultanés séparés à la terre	20
Section 3: Courants de court-circuit partiels s'écoulant à travers la terre dans le cas d'un court-circuit déséquilibré		
3.1	Méthode de calcul	22
3.1.1	Généralités	22
3.1.2	Court-circuit monophasé à la terre dans un poste	22
3.1.3	Court-circuit monophasé à la terre en dehors d'un poste	26
3.1.4	Facteur de réduction des lignes aériennes et des câbles	28
Annexes		
A	Exemple de calcul de deux court-circuits monophasés simultanés séparés à la terre	34
A.1	Données	34
A.2	Calculs	36
B	Exemples de calcul de courants de court-circuit partiels à travers la terre	40
B.1	Données	40
B.2	Premier cas: Calcul d'un courant de court-circuit monophasé à la terre dans un poste	42
B.3	Deuxième cas: Calcul d'un courant de court-circuit monophasé à la terre en dehors d'un poste	48

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
Clause	
Section 1: General	
1.1 Scope	7
1.2 Normative references	9
1.3 Definitions	9
1.3.1 Two separate simultaneous single phase line-to-earth short circuits ...	9
1.3.2 Initial short-circuits currents during two separate simultaneous single phase line-to-earth short circuits I''_{kEE}	9
1.3.3 Total earth current I_{Etot} at the short-circuit location	9
1.3.4 Partial short-circuit current through earth $I_{L(0)}$	11
1.3.5 Reduction factor of line r	11
1.3.6 Driving point impedance Z_p	11
1.4 Symbols	13
Section 2: Currents during two separate simultaneous single phase line-to-earth short circuits	
2.1 Calculation method	15
2.1.1 Initial symmetrical short-circuit current	15
2.1.2 Peak short-circuit current, symmetrical short-circuit breaking current and steady-state short-circuit current	19
2.1.3 Distribution of line-to-earth short-circuit currents during two separate simultaneous single phase line-to-earth short circuits ...	21
Section 3: Partial short-circuit currents flowing through earth in the case of an unbalanced short circuit	
3.1 Calculation method	23
3.1.1 General	23
3.1.2 Line-to-earth short circuit in a station	23
3.1.3 Line-to-earth short circuit outside a station	27
3.1.4 Reduction factor for overhead lines and cables	29
Annexes	
A Example for the calculation of two separate simultaneous single-phase line-to-earth short-circuit currents	35
A.1 Data	35
A.2 Calculations	37
B Examples for the calculation of partial short-circuit currents through earth	41
B.1 Data	41
B.2 Case 1: Calculation of line-to-earth short-circuit current in a station	43
B.3 Case 2: Calculation of line-to-earth short-circuit current outside a station	49

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

CALCULS DES COURANTS DE COURT-CIRCUIT DANS LES RÉSEAUX TRIPHASÉS À COURANT ALTERNATIF

PARTIE 3: COURANTS DURANT DEUX COURT-CIRCUITS MONOPHASÉS SIMULTANÉS SÉPARÉS À LA TERRE ET COURANTS DE COURT-CIRCUIT PARTIELS S'ÉCOULANT À TRAVERS LA TERRE

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes internationales. Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par les comités d'études 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.
- 3) Ces décisions constituent des recommandations internationales publiées sous forme de normes, de rapports techniques ou de guides et agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

La Norme internationale CEI 909-3 a été établie par le comité d'études 73 de la CEI: Courants de court-circuit.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

DIS	Rapport de vote
73/71/DIS	73/78/RVD

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

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

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**SHORT-CIRCUIT CURRENT CALCULATION
IN THREE-PHASE A.C. SYSTEMS****PART 3: CURRENTS DURING TWO SEPARATE SIMULTANEOUS
SINGLE PHASE LINE-TO-EARTH SHORT CIRCUITS
AND PARTIAL SHORT-CIRCUIT CURRENTS
FLOWING THROUGH EARTH**

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international cooperation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. The IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of 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.
- 3) They have the form of recommendations for international use published in the form of standards, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.

International Standard IEC 909-3 has been prepared by IEC technical committee 73: Short-circuit currents.

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

DIS	Report on voting
73/71/DIS	73/78/RVD

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

Annexes A and B are for information only.

CALCULS DES COURANTS DE COURT-CIRCUIT DANS LES RÉSEAUX TRIPHASÉS À COURANT ALTERNATIF

PARTIE 3: COURANTS DURANT DEUX COURT-CIRCUITS MONOPHASÉS SIMULTANÉS SÉPARÉS À LA TERRE ET COURANTS DE COURT-CIRCUIT PARTIELS S'ÉCOULANT À TRAVERS LA TERRE

Section 1: Généralités

1.1 Domaine d'application

La présente norme internationale spécifie les procédures applicables au calcul des valeurs présumées des courants de court-circuit lors d'un court-circuit déséquilibré dans les réseaux triphasés aériens à haute tension à courant alternatif fonctionnant à une fréquence nominale de 50 ou 60 Hz, c'est à dire:

- a) courants durant deux court-circuits monophasés simultanés séparés à la terre dans les réseaux à neutre isolé ou mis à la terre par une bobine d'extinction;
- b) courants de court-circuit partiels s'écoulant à travers la terre, dans le cas d'un seul défaut monophasé à la terre dans les réseaux à neutre mis à la terre directement ou par une faible impédance.

Les courants calculés suivant ces procédures doivent être utilisés pour la détermination des tensions induites ou des tensions de contact ou de pas, et la montée du potentiel de terre dans un poste.

La présente norme ne couvre pas:

- a) les courants de court-circuit provoqués délibérément de façon contrôlée, comme dans les stations d'essai en court-circuit;
- b) les courants de court-circuit dans les installations électriques à bord des navires ou des avions;
- c) les simples défauts monophasés à la terre dans les réseaux à neutre isolé ou mis à la terre par une bobine d'extinction.

L'objet de la présente norme est d'établir des procédures pratiques et concises pour le calcul des courants de court-circuit à la terre durant deux court-circuits monophasés simultanés séparés à la terre et des courants de court-circuit partiels s'écoulant à travers la terre, dans les installations électriques, donnant des résultats sûrs et d'une précision suffisante. Dans ce but, le courant est déterminé en utilisant une source de tension équivalente appliquée à l'emplacement du court-circuit, toutes les autres sources étant mises à zéro. La procédure est applicable à une détermination par des méthodes manuelles, par des simulations analogiques ou par calcul numérique.

La présente norme constitue un complément à la CEI 909. Pour les définitions, les symboles et les hypothèses de calcul en général, se reporter à cette publication. Seuls des éléments particuliers sont définis ou spécifiés dans le présent document. Ceci n'exclue pas l'utilisation de méthodes particulières, par exemple la méthode de superposition, adaptées à des circonstances particulières, si elles donnent au moins la même précision.

SHORT-CIRCUIT CURRENT CALCULATION IN THREE-PHASE A.C. SYSTEMS

PART 3: CURRENTS DURING TWO SEPARATE SIMULTANEOUS SINGLE PHASE LINE-TO-EARTH SHORT CIRCUITS AND PARTIAL SHORT-CIRCUIT CURRENTS FLOWING THROUGH EARTH

Section 1: General

1.1 Scope

This International Standard specifies procedures for calculation of the prospective short-circuit currents with an unbalanced short circuit in high-voltage three-phase a.c. systems operating at nominal frequency 50 Hz or 60 Hz, i.e.

- a) currents during two separate simultaneous single phase line-to-earth short circuits in isolated neutral or resonant earthed neutral systems;
- b) partial short-circuit currents flowing through earth in case of single line-to-earth fault in solidly earthed or low-impedance earthed neutral systems.

The currents calculated by these procedures are to be used when determining induced voltages or touch or step voltages and rise of earth potential at a substation.

This standard does not cover:

- a) short-circuit currents deliberately created under controlled conditions as in short-circuit testing stations, or
- b) short-circuit currents in the electrical installations on board ships or aeroplanes, or
- c) single line-to-earth faults in isolated or resonant earthed systems.

The object of this standard is to establish practical and concise procedures for the calculation of line-to-earth short-circuit currents during two separate simultaneous single phase short circuit and partial short-circuit currents through earth from electrical installations, leading to conservative results with sufficient accuracy. For this purpose, the current is determined by considering an equivalent voltage source applied at the short-circuit location with all other sources set to zero. The procedure is suitable for determination by manual methods, analogue simulations or digital computation.

This standard is an addition to IEC 909. General definitions, symbols and calculation assumptions refer to that publication. Special items only are defined or specified in this document. This does not exclude the use of special methods, for example the superposition method, adjusted to particular circumstances, if they give at least the same precision.

Comme indiqué dans la CEI 909, les courants de court-circuit et leurs paramètres peuvent aussi être déterminés par des essais du réseau, par des mesures sur un analyseur de réseau ou avec un calculateur numérique.

Le calcul des paramètres du court-circuit sur la base des caractéristiques assignées du matériel électrique et de la disposition topologique du réseau présente l'avantage d'être possible aussi bien pour les réseaux existants que pour les réseaux au stade de la conception.

1.2 Références normatives

Le document normatif suivant contient des dispositions qui, par suite de la référence qui en est faite, constituent des dispositions valables pour la présente norme internationale. Au moment de la publication, l'édition indiquée était en vigueur. Tout document normatif est sujet à révision, et les parties prenantes des accords fondés sur la présente norme internationale sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer l'édition la plus récente du document normatif indiqué ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur à un moment donné.

CEI 909: 1988, *Calcul des courants de court-circuit dans les réseaux triphasés à courant alternatif*.

CEI 909-1: 1991, *Calcul des courants de court-circuit dans les réseaux triphasés à courant alternatif – Partie 1: Facteurs pour le calcul des courants de court-circuit dans les réseaux alternatifs triphasés conformément à la CEI 909*.

CEI 909-2: 1992, *Calcul des courants de court-circuit dans les réseaux triphasés à courant alternatif – Matériel électrique – Données pour le calcul des courants de court-circuit conformément à la CEI 909 (1988)*.

1.3 Définitions

Pour les besoins de la présente norme, les définitions suivantes s'appliquent.

1.3.1 Deux court-circuits monophasés simultanés séparés à la terre

Court-circuits monophasés à la terre se produisant simultanément en des emplacements distincts et sur des phases distinctes d'un réseau triphasé à courant alternatif dont le neutre est isolé ou est mis à la terre par une bobine d'extinction.

1.3.2 Courant initial durant deux court-circuits monophasés simultanés séparés à la terre I''_{kEE}

Valeur efficace du courant de court-circuit initial circulant avec la même amplitude aux deux emplacements, au moment des deux court-circuits monophasés simultanés séparés à la terre.

1.3.3 Courant à la terre total I_{Etot} à l'emplacement du court-circuit

Valeur efficace du courant total s'écoulant par le réseau de terre d'un poste (centrale, poste de transformation ou de couplage) ou par l'impédance de pied d'un pylône de ligne aérienne et par des conducteurs mis à la terre. De tels conducteurs peuvent être des câbles de garde de ligne aérienne ou bien des gaines, écrans ou armures de câbles.

As stated in IEC 909, short-circuit currents and their parameters may also be determined by system tests, by measurement on a network analyzer, or with a digital computer.

The calculation of the short-circuit parameters based on the rated data of the electrical equipment and the topological arrangement of the system has the advantage of being possible both for existing systems and for systems at the planning stage.

1.2 Normative references

The following normative document contains provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this International Standard. At the time of publication, the edition indicated was valid. All normative documents are subject to revision, and parties to agreement based on this International Standard are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent edition of the normative documents indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 909: 1988, *Short-circuit current calculation in three-phase a.c. systems*.

IEC 909-1: 1991, *Short-circuit current calculation in three-phase a.c. systems – Part 1: Factors for the calculation of short-circuit currents in three-phase a.c. systems according to IEC 909*.

IEC 909-2: 1991, *Short-circuit current calculation in three-phase a.c. systems – Electrical equipment – Data for short-circuit current calculations in accordance with IEC 909 (1988)*.

1.3 Definitions

For the purpose of this standard, the following definitions apply.

1.3.1 Two separate simultaneous single phase line-to-earth short circuits

Line-to-earth short circuits at different locations at the same time in different phases of a three-phase a.c. system having a resonant earthed or an isolated neutral.

1.3.2 Initial short-circuits currents during two separate simultaneous single phase line-to-earth short circuits I''_{kEE}

The r.m.s. value of the initial short-circuit currents flowing with the same magnitude at both locations at the instant of the two separate simultaneous line-to-earth short circuits.

1.3.3 Total earth current I_{Etot} at the short-circuit location

The r.m.s. value of the total current flowing through the earthing system of a station (power station, transformer or switching station) or the footing impedance of an overhead line tower and through earthed conductors to earth. Such conductors may be earth wires of overhead lines or sheaths, shielding or armouring of cables.

1.3.4 Courant de court-circuit partiel à travers la terre $\underline{I}_{(0)}$

Amplitude de la fraction du courant total s'écoulant à la terre à une certaine distance de l'emplacement du court-circuit et du réseau de terre d'un poste, où la répartition du courant total entre les conducteurs mis à la terre et la terre est presque constante. Son amplitude dépend du facteur de réduction $\underline{r}$.

1.3.5 Facteur de réduction d'une ligne $\underline{r}$

Facteur qui détermine la fraction du courant homopolaire s'écoulant par la terre à une certaine distance de l'emplacement du court-circuit et du réseau de terre d'un poste.

1.3.6 Impédance d'entrée $\underline{Z}_p$

Dans le cas d'une ligne aérienne, impédance constituée de l'impédance du câble de garde $\underline{Z}_W$ entre deux pylônes avec retour par la terre, et de la résistance de pied de pylône R_T . L'impédance d'entrée est définie pour une direction par

$$\underline{Z}_p = \frac{\underline{Z}_W}{2} + \sqrt{\left[\frac{\underline{Z}_W}{2}\right]^2 + \underline{Z}_W R_T} = \frac{\underline{Z}_W}{2} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{4 R_T}{\underline{Z}_W}} \right] \quad (1)$$

avec $\underline{Z}_W = \underline{Z}'_W \cdot d_T$

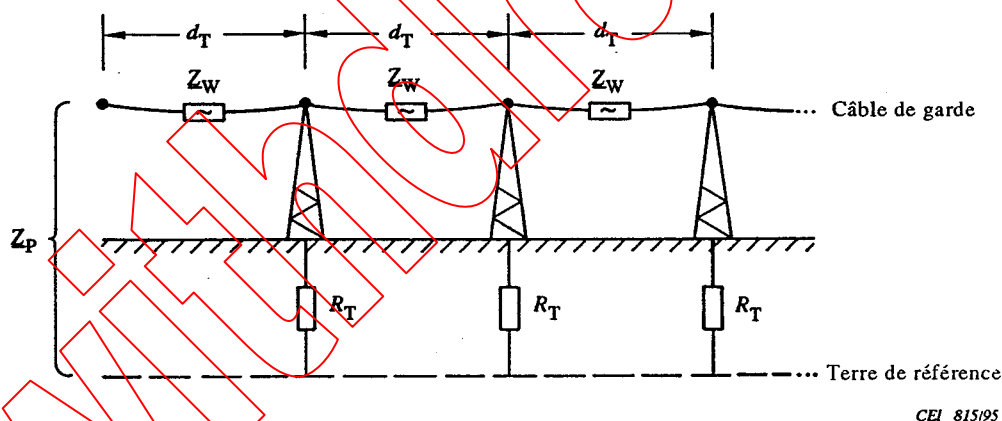


Figure 1 – Chaîne infinie constituée par l'impédance du câble de garde $\underline{Z}_W$ et la résistance de pied des pylônes R_T , séparées par des distances identiques d_T

NOTE - L'impédance d'entrée $\underline{Z}_p$ peut être supposée constante à une distance de l'emplacement du court-circuit, F , supérieure à la distance "loin du poste" D_F définie par l'équation (16).

Dans le cas d'un câble d'énergie, une approche similaire peut être utilisée, mais des précautions particulières sont nécessaires.

1.3.4 Partial short-circuit current through earth $\underline{I}_{(0)}$

The magnitude of the part of the total current flowing through earth remote from the short-circuit location and the earthing system of a station, where the distribution of the total current between earthed conductors and earth is nearly constant. Its magnitude depends on the reduction factor $\underline{r}$.

1.3.5 Reduction factor of line $\underline{r}$

The factor which determines the part of the zero-sequence current flowing through earth remote from the short-circuit location and the earthing system of a station.

1.3.6 Driving point impedance $\underline{Z}_p$

In the case of an overhead line, the driving point impedance is composed of the earth-wire impedance $\underline{Z}_w$ between two towers with earth return, and the tower footing resistance R_T . The driving point impedance is defined for one direction by:

$$\underline{Z}_p = \frac{\underline{Z}_w}{2} + \sqrt{\left[\frac{\underline{Z}_w}{2}\right]^2 + \underline{Z}_w \cdot R_T} = \frac{\underline{Z}_w}{2} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{4 R_T}{\underline{Z}_w}} \right] \quad (1)$$

with $\underline{Z}_w = \underline{Z}'_w \cdot d_T$

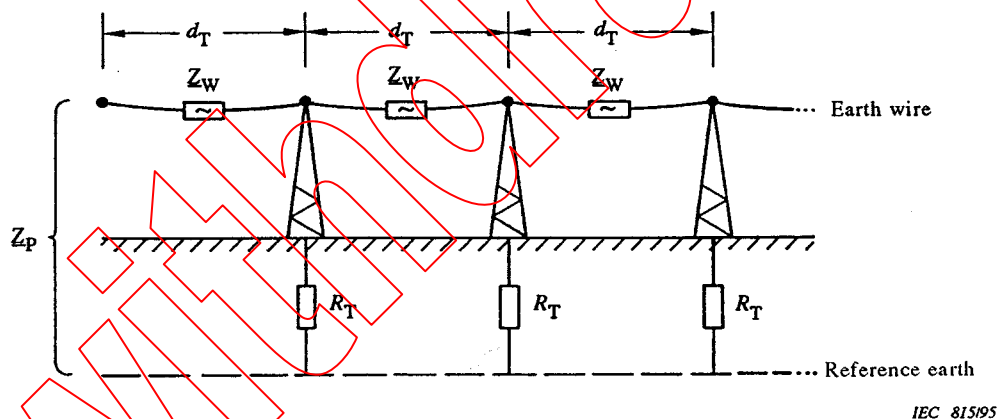


Figure 1 – Infinite chain composed by the earth-wire impedance $\underline{Z}_w$ and the footing resistance R_T of towers separated with equal distances d_T

NOTE - The driving point impedance $\underline{Z}_p$ can be assumed constant at a distance from the short-circuit point F , longer than the far-from-station distance D_F defined by equation (16).

In the case of a power cable, a similar approach may be used, but special considerations are necessary.

1.4 Symboles

Toutes les équations données sont des équations quantitatives dans lesquelles les symboles représentent des grandeurs physiques comportant à la fois des valeurs numériques et des dimensions. Les symboles des grandeurs complexes sont soulignés, par exemple e.g. $\underline{Z} = R + jX$.

c	Facteur de tension selon le tableau I de la CEI 909
$cU_n/\sqrt{3}$	Source de tension équivalente (valeur efficace), voir CEI 909
D_F	Distance "loin du poste"
d_T	Distance entre pylônes, voir fig. 1
I_{bEE}	Courant de court-circuit coupé (valeur efficace)
I_{Etot}	Courant de terre total à l'emplacement du court-circuit (valeur efficace)
I''_{k1}	Courant de court-circuit monophasé à la terre initial (valeur efficace)
I''_{KEE}	Courant de court-circuit initial durant deux court-circuits monophasés simultanés séparés à la terre (valeur efficace)
I''_{KE2E}	Courant de court-circuit initial (valeur efficace) s'écoulant par la terre dans le cas d'un court-circuit biphasé à la terre, voir la CEI 909
i_{pEE}	Valeur de crête du courant de court-circuit
$\underline{M}_{(1)}, \underline{M}_{(2)}$	Impédance de couplage du système respectivement directe et inverse
R'_S	Composante résistive linéique de l'impédance propre d'une gaine à la terre
R_E	Résistance du réseau de terre
R_T	Résistance de pied d'un pylône de ligne aérienne
r	Facteur de réduction
$r \cdot 3I_{(0)}$	Courant de court-circuit partiel à travers la terre à une distance supérieure à D_F
$\underline{Z}_{(1)A}, \underline{Z}_{(1)B}$	Impédance de court-circuit directe du réseau triphasé à courant alternatif aux emplacements de court-circuit A et B
$\underline{Z}_{(2)A}, \underline{Z}_{(2)B}$	Impédance de court-circuit inverse du réseau triphasé à courant alternatif aux emplacements de court-circuit A et B
$\underline{Z}_{(0)}$	Impédance de court-circuit homopolaire du réseau complet entre les emplacements de court-circuit A et B (les admittances entre phases et terre sont négligées)
$\underline{Z}'_S$	Impédance linéique d'une gaine à la terre
$\underline{Z}_E$	Impédance totale de terre dans une station
$\underline{Z}_P$	Impédance d'entrée selon l'équation (1) et la figure 1
$\underline{Z}_{ET}$	Impédance totale de terre du pylône où se situe le court-circuit
$\underline{Z}_U$	Impédance d'entrée des gaines, écrans ou armures de câble
$\underline{Z}_W = \underline{Z}'_W \cdot d_T$	Impédance du câble de garde avec retour par la terre entre deux pylônes
$\underline{Z}'_W$	Impédance linéique du câble de garde avec retour par la terre
$\underline{Z}'_{WL}$	Impédance mutuelle linéique entre le câble de garde et les conducteurs de phase parallèles, avec retour commun par la terre
δ	Profondeur équivalente de pénétration dans la terre
ρ	Résistivité du sol

1.4 Symbols

All equations are written as quantity equations, in which the symbols represent physical quantities possessing both numerical values and dimensions. Symbols of complex quantities are underlined, e.g. $\underline{Z} = R + jX$.

c	Voltage factor according to table I of IEC 909
$cU_n/\sqrt{3}$	Equivalent voltage source (r.m.s.), see IEC 909
D_F	Far-from-station distance
d_T	Distance between towers, see fig. 1.
I_{bEE}	Short-circuit breaking current (r.m.s.)
I_{Etot}	Total earth current at the short-circuit location (r.m.s.)
I''_{k1}	Initial line-to-earth short-circuit current (r.m.s.)
I''_{kEE}	Initial short-circuit current during two separate simultaneous single-phase line-to-earth short circuit (r.m.s.)
I''_{kE2E}	Initial short-circuit current (r.m.s.) flowing to earth in the case of a line-to-line short circuit with earth connection, see IEC 909.
i_{pEE}	Peak short-circuit current
$\underline{M}_{(1)}, \underline{M}_{(2)}$	Coupling impedance, in the positive- resp. negative-sequence system
R'_S	Resistive component of the sheath to earth self impedance per unit length
R_E	Resistance of earth grid
R_T	Footing resistance of an overhead line tower
$\underline{r}$	Reduction factor
$\underline{r} \cdot 3L_{(0)}$	Partial short-circuit current through earth at a distance larger than D_F
$\underline{Z}_{(1)A}, \underline{Z}_{(1)B}$	Positive-sequence short-circuit impedance of the three-phase a.c. system at the short-circuit locations A and B
$\underline{Z}_{(2)A}, \underline{Z}_{(2)B}$	Negative-sequence short-circuit impedance of the three-phase a.c. system at the short-circuit locations A and B
$\underline{Z}_{(0)}$	Zero-sequence short-circuit impedance of the entire network between the short-circuit locations A and B (admittances between phases and earth are disregarded)
$\underline{Z}'_S$	Sheath to earth impedance per unit length
$\underline{Z}_E$	Total earth impedance in a station
$\underline{Z}_{ET}$	Total earth impedance of the short-circuited tower
$\underline{Z}_P$	Driving point impedance according to equation (1) and fig. 1.
$\underline{Z}_U$	Input impedance of sheaths, shielding or armouring of cables
$\underline{Z}_W = \underline{Z}'_W \cdot d_T$	Earth-wire impedance with earth return between two towers
$\underline{Z}'_W$	Per unit length earth-wire impedance with earth return
$\underline{Z}'_{WL}$	Per unit length mutual impedance between earth wires and the line conductors with common earth return
δ	Equivalent earth penetration depth
ρ	Soil resistivity

Section 2: Courants durant deux court-circuits monophasés simultanés séparés à la terre

2.1 Méthode de calcul

2.1.1 Courant de court-circuit symétrique initial

La figure 2 montre les courants de court-circuit I''_{kEE} dans le cas de deux court-circuits monophasés simultanés séparés à la terre dans des phases distinctes aux emplacements A et B séparés par une distance non nulle.

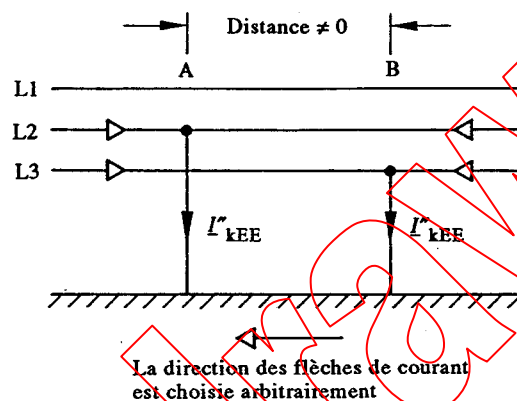


Figure 2 – Représentation de deux court-circuits monophasés simultanés séparés à la terre et du courant I''_{kEE}

Dans les réseaux avec neutre isolé ou mis à la terre par une bobine d'extinction, le courant de court-circuit symétrique initial I''_{kEE} est calculé à l'aide de

$$I''_{kEE} = \frac{3cU_n}{\left| Z_{(1)A} + Z_{(2)A} + Z_{(1)B} + Z_{(2)B} + \underline{M}_{(1)} + \underline{M}_{(2)} + Z_{(0)} \right|} \quad (2)$$

Dans le cas d'un court-circuit éloigné d'un alternateur, pour lequel $Z_{(1)} = Z_{(2)}$ et $\underline{M}_{(1)} = \underline{M}_{(2)}$, le courant de court-circuit initial devient

$$I''_{kEE} = \frac{3cU_n}{\left| 2Z_{(1)A} + 2Z_{(1)B} + 2\underline{M}_{(1)} + Z_{(0)} \right|} \quad (3)$$

Pour le calcul du courant de court-circuit maximal conformément à la CEI 909, d'impédance totale de terre Z_E peut être négligée pour un court-circuit avec mise à la terre dans une station ou sur un pylône, équations (14) et (19).

NOTE - Pour la résolution de l'équation (2) voir les Directives du CCITT, UIT Genève, volume V, Chapitre 5.

Section 2: Currents during two separate simultaneous single phase line-to-earth short circuits

2.1 Calculation method

2.1.1 Initial symmetrical short-circuit current

Figure 2 shows the short-circuit current I''_{kEE} during two separate simultaneous single phase line-to-earth short circuits in different phases at the locations A and B with a distance between them $\neq 0$.

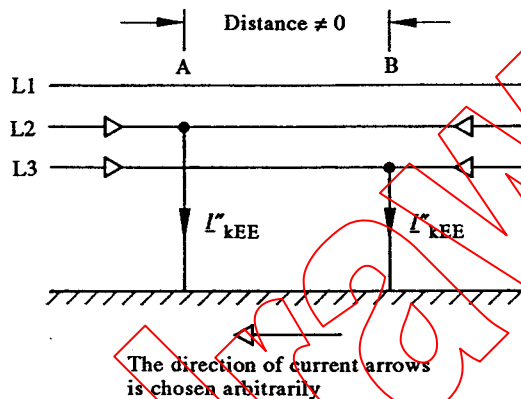


Figure 2 – Characterization of two separate simultaneous single phase line-to-earth short circuits and the current I''_{kEE}

In systems with isolated neutral or with resonant earthed neutral the initial symmetrical short-circuit current I''_{kEE} is calculated using

$$I''_{kEE} = \frac{3cU_n}{\left| Z_{(1)A} + Z_{(2)A} + Z_{(1)B} + Z_{(2)B} + \underline{M}_{(1)} + \underline{M}_{(2)} + Z_{(0)} \right|} \quad (2)$$

In the case of a far-from-generator short circuit, where $Z_{(1)} = Z_{(2)}$ and $\underline{M}_{(1)} = \underline{M}_{(2)}$, the initial short-circuit current becomes

$$I''_{kEE} = \frac{3cU_n}{\left| 2Z_{(1)A} + 2Z_{(1)B} + 2\underline{M}_{(1)} + Z_{(0)} \right|} \quad (3)$$

For calculation of the maximum short-circuit current according to IEC 909, the total earth impedance Z_E is to be disregarded for a short circuit with earth connection in a station or at a tower, equations (14) and (19).

NOTE - For derivation of equation (2) see CCITT-Directives, ITU Geneva, volume V, Chapter 5.

2.1.1.1 Détermination de $\underline{M}_{(1)}$ et $\underline{M}_{(2)}$

Les impédances de couplage, directe et inverse, $\underline{M}_{(1)}$ et $\underline{M}_{(2)}$ sont déterminées comme indiqué ci-après:

Une source de tension $\underline{U}_A$ est introduite à l'emplacement du court-circuit A comme la seule tension active du réseau. Si $\underline{I}_{(1)A}$ et $\underline{I}_{(2)A}$ sont les courants dus à cette source de tension dans les systèmes direct et inverse au point de court-circuit A et si $\underline{U}_{(1)B}$ et $\underline{U}_{(2)B}$ sont les tensions résultantes dans les systèmes direct et inverse au point B, alors

$$\underline{M}_{(1)} = \frac{\underline{U}_{(1)B}}{\underline{I}_{(1)A}} \quad \underline{M}_{(2)} = \frac{\underline{U}_{(2)B}}{\underline{I}_{(2)A}} \quad (4)$$

Les impédances de couplage $\underline{M}_{(1)}$ et $\underline{M}_{(2)}$ peuvent aussi être déterminées au point de court-circuit B au lieu du point A à l'aide de

$$\underline{M}_{(1)} = \frac{\underline{U}_{(1)A}}{\underline{I}_{(1)B}} \quad \underline{M}_{(2)} = \frac{\underline{U}_{(2)A}}{\underline{I}_{(2)B}} \quad (5)$$

2.1.1.2 Exemples simples de deux court-circuits monophasés simultanés séparés à la terre

Dans des cas simples les courants de deux court-circuits monophasés simultanés séparés à la terre peuvent être calculés comme indiqué dans le tableau 1, à condition d'admettre que $\underline{Z}_{(1)} = \underline{Z}_{(2)}$ et que $\underline{M}_{(1)} = \underline{M}_{(2)}$. Avec cette hypothèse, les équations (6) à (8), données dans le tableau 1, sont déduites de l'équation (2). Les indices des équations (6) à (8) se rapportent aux impédances appropriées dans les circuits correspondants.