

RAPPORT
TECHNIQUE
TECHNICAL
REPORT

CEI
IEC

TR 60909-4

Première édition
First edition
2000-07

**Courants de court-circuit dans les réseaux
triphases à courant alternatif –**

**Partie 4:
Exemples pour le calcul des courants
de court-circuit**

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

**Part 4:
Examples for the calculation of
short-circuit currents**

© IEC 2000 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 photo-copie 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.

International Electrotechnical Commission
Telefax: +41 22 919 0300

e-mail: inmail@iec.ch

3, rue de Varembe Geneva, Switzerland
IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE XB

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

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS.....	6
Articles	
1 Généralités	10
1.1 Domaine d'application et objet.....	10
1.2 Documents de référence.....	10
1.3 Définitions, symboles et indices, et équations.....	12
2 Impédances directe, inverse et homopolaire des matériels électriques	12
2.1 Lignes aériennes, câbles et réactances de limitation du courant de court-circuit	12
2.2 Transformateurs.....	14
2.3 Alternateurs et groupes de production.....	26
3 Calcul des courants de court-circuit dans un réseau basse tension $U_n = 400\text{ V}$	36
3.1 Problème.....	36
3.2 Détermination des impédances directes.....	36
3.2.1 Réseau d'alimentation	36
3.2.2 Transformateurs.....	40
3.2.3 Lignes (câbles et ligne aérienne).....	40
3.3 Détermination des impédances homopolaires.....	42
3.3.1 Transformateurs.....	42
3.3.2 Lignes (câbles et lignes aériennes).....	42
3.4 Calcul de I_k'' et i_p pour les court circuits triphasés	44
3.4.1 Point de court-circuit F1	44
3.4.2 Point de court-circuit F2.....	46
3.4.3 Point de court-circuit F3.....	48
3.5 Calcul de I_{k1}'' et i_{p1} pour les courts-circuits phase terre	48
3.5.1 Point de court-circuit F1	48
3.5.2 Point de court-circuit F2.....	52
3.5.3 Point de court-circuit F3.....	54
3.6 Récapitulation des résultats.....	54
4 Calcul des courants de court-circuit triphasés dans un réseau moyenne tension – influence des moteurs	56
4.1 Problème.....	56
4.2 Calcul complexe à partir de grandeurs réelles	58
4.3 Calcul avec les réactances de court-circuit du matériel électrique.....	66
4.4 Calcul à partir des grandeurs réduites	70
4.5 Calcul avec la méthode de superposition.....	74

CONTENTS

	Page
FOREWORD	7
Clause	
1 General.....	11
1.1 Scope and object	11
1.2 Reference documents	11
1.3 Definitions, symbols and indices, and equations	13
2 Positive-sequence, negative-sequence and zero-sequence impedances of electrical equipment.....	13
2.1 Overhead lines, cables and short-circuit limiting reactors	13
2.2 Transformers.....	15
2.3 Generators and power-station units	27
3 Calculation of short-circuit currents in a low-voltage system $U_n = 400$ V	37
3.1 Problem	37
3.2 Determination of the positive-sequence impedances	37
3.2.1 Network feeder	37
3.2.2 Transformers	41
3.2.3 Lines (cables and overhead lines)	41
3.3 Determination of the zero-sequence impedances	43
3.3.1 Transformers	43
3.3.2 Lines (cables and overhead lines)	43
3.4 Calculation of I_k'' and i_p for three-phase short circuits	45
3.4.1 Short-circuit location F1	45
3.4.2 Short-circuit location F2.....	47
3.4.3 Short-circuit location F3.....	49
3.5 Calculation of I_{k1}'' and i_{p1} for line-to-earth short circuits.....	49
3.5.1 Short-circuit location F1	49
3.5.2 Short-circuit location F2.....	53
3.5.3 Short-circuit location F3.....	55
3.6 Collection of results.....	55
4 Calculation of three-phase short-circuit currents in a medium-voltage system – influence of motors.....	57
4.1 Problem	57
4.2 Complex calculation with absolute quantities	59
4.3 Calculation with short-circuit reactances of electrical equipment	67
4.4 Calculation with per-unit quantities	71
4.5 Calculation with the superposition method	75

Articles	Pages
5 Calcul des courants de court-circuit triphasés pour un groupe de production et le réseau auxiliaire	82
5.1 Problème.....	82
5.2 Impédances de court-circuit des matériels électriques	86
5.2.1 Réseau d'alimentation	86
5.2.2 Groupe de production	86
5.2.3 Transformateurs auxiliaires	90
5.2.4 Transformateurs basse tension 2,5 MVA et 1,6 MVA.....	90
5.2.5 Moteurs asynchrones	98
5.3 Calcul des courants de court-circuit	98
5.3.1 Point de court-circuit F1	98
5.3.2 Point de court-circuit F2.....	100
5.3.3 Point de court-circuit F3.....	104
5.3.4 Point de court-circuit F4.....	110
5.3.5 Point de court-circuit F5.....	114
6 Réseau d'essai pour le calcul des courants de court-circuit avec des programmes informatiques, conformément à la CEI 60909-0.....	118
6.1 Généralités.....	118
6.2 Réseau d'essai à haute tension 380 kV/ 110 kV/30 kV	120
6.2.1 Topologie et caractéristiques du réseau	120
6.2.2 Impédances de court-circuit des matériels électriques.....	124
6.3 Résultats	128
6.3.1 Courants de court-circuit triphasés	128
6.3.2 Courants de court-circuit phase terre	130

Clause	Page
5 Calculation of three-phase short-circuit currents for a power station unit and the auxiliary network.....	83
5.1 Problem	83
5.2 Short-circuit impedances of electrical equipment.....	87
5.2.1 Network feeder	87
5.2.2 Power-station unit.....	87
5.2.3 Auxiliary transformers.....	91
5.2.4 Low-voltage transformers 2,5 MVA and 1,6 MVA	91
5.2.5 Asynchronous motors	99
5.3 Calculation of short-circuit currents.....	99
5.3.1 Short-circuit location F1	99
5.3.2 Short-circuit location F2.....	101
5.3.3 Short-circuit location F3.....	105
5.3.4 Short-circuit location F4.....	111
5.3.5 Short-circuit location F5.....	115
6 Test network for the calculation of short-circuit currents with digital programs in accordance with IEC 60909-0.....	119
6.1 General	119
6.2 High-voltage test network 380 kV/ 110 kV/30 kV.....	121
6.2.1 Network topology and data	121
6.2.2 Short-circuit impedances of electrical equipment	125
6.3 Results.....	127
6.3.1 Three-phase short-circuit currents	129
6.3.2 Line-to-earth short-circuit currents	131

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**COURANTS DE COURT-CIRCUIT DANS LES RÉSEAUX TRIPHASÉS À
COURANT ALTERNATIF –**

Partie 4: Exemples pour le calcul des courants de court-circuit

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Électrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes internationales. Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, spécifications techniques, rapports techniques ou guides et agréés comme tels par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments du présent rapport technique peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La tâche principale des comités d'études de la CEI est l'élaboration des Normes internationales. Toutefois, un comité d'études peut proposer la publication d'un rapport technique lorsqu'il a réuni des données de nature différente de celles qui sont normalement publiées comme Normes internationales, cela pouvant comprendre, par exemple, des informations sur l'état de la technique.

La CEI 60909-4, qui est un rapport technique, a été établie par le comité d'études 73 de la CEI: Courants de court-circuit.

Ce rapport technique doit être utilisé conjointement avec la CEI 60909-0.

Le texte de ce rapport technique est issu des documents suivants:

Projet d'enquête	Rapport de vote
73/105/CDV	73/108/RVC

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

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

Ce document, purement informatif, ne doit pas être considéré comme une Norme internationale.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

SHORT-CIRCUIT CURRENTS IN THREE-PHASE AC SYSTEMS –**Part 4: Examples for the calculation of short-circuit currents**

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 co-operation 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 express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical specifications, 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.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this technical report may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

The main task of IEC technical committees is to prepare International Standards. However, a technical committee may propose the publication of a technical report when it has collected data of a different kind from that which is normally published as an International Standard, for example "state of the art".

IEC 60909-4, which is a technical report, has been prepared by IEC technical committee 73: Short-circuit currents.

This technical report shall be used in conjunction with IEC 60909-0.

The text of this technical report is based on the following documents:

Enquiry draft	Report on voting
73/105/CDV	73/108/RVC

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

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 3.

This document, which is purely informative, is not to be regarded as an International Standard.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant 2004. A cette date, la publication sera

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

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until 2004. At this date, the publication will be

- reconfirmed;
- withdrawn;
- replaced by a revised edition, or
- amended.

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

Partie 4: Exemples pour le calcul des courants de court-circuit

1 Généralités

1.1 Domaine d'application et objet

La présente partie de la CEI 60909 est un rapport technique destiné à fournir une aide à l'application de la CEI 60909-0 pour le calcul des courants de court-circuit dans les réseaux triphasés à courant alternatif 50 Hz ou 60 Hz.

Le présent rapport technique ne donne aucune prescription complémentaire mais constitue un support pour la représentation des matériels électriques dans un système direct, inverse et homopolaire (article 2) et la réalisation pratique des calculs dans un réseau à basse tension (article 3), un réseau à moyenne tension avec moteurs asynchrones (article 4) et un groupe de production avec son réseau auxiliaire alimentant un nombre important de moteurs asynchrones à moyenne tension et de groupes de moteurs à basse tension (article 5).

Les trois exemples donnés aux articles 3, 4 et 5 sont similaires à ceux donnés dans la CEI 60909 (1988) mais ils ont été révisés conformément à la CEI 60909-0, qui la remplace.

Un paragraphe a été ajouté à l'exemple de l'article 3 pour donner une comparaison entre les résultats trouvés avec l'application de la source de tension équivalente au point de court-circuit selon la procédure donnée dans la CEI 60909-0 d'une part, et les résultats trouvés avec la méthode par superposition d'autre part, qui tiennent compte des différentes conditions de flux de puissance avant le court-circuit.

L'article 6 du présent rapport technique donne le schéma de circuit et les caractéristiques d'un réseau d'essai ainsi que les résultats pour un calcul effectué conformément à la CEI 60909-0, pour permettre la comparaison entre les résultats trouvés avec un programme informatique pour le calcul des courants de court-circuit et les résultats donnés pour I_k'' , i_p , I_b , I_k , I_{k1}'' et i_{p1} dans un réseau haute tension avec des groupes de production, des alternateurs, des moteurs asynchrones et des lignes avec quatre niveaux de tension différents: 380 kV, 110 kV, 30 kV et 10 kV.

1.2 Documents de référence

CEI 60038:1983, *Tensions normales de la CEI*

CEI 60909-0:2000, *Courants de court-circuit dans les réseaux triphasés à courant alternatif – Partie 0: Calcul des courants*

CEI 60909-1:1991, *Calculs 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 60909*

CEI 60909-2:1992, *Matériel électrique – Données pour le calcul des courants de court-circuit conformément à la CEI 60909*

SHORT-CIRCUIT CURRENTS IN THREE-PHASE AC SYSTEMS – Part 4: Examples for the calculation of short-circuit currents

1 General

1.1 Scope and object

This part of IEC 60909 is a technical report intended to give help for the application of IEC 60909-0 for the calculation of short-circuit currents in 50 Hz or 60 Hz three-phase a.c. systems.

This technical report does not include additional requirements but gives support for the modelling of electrical equipment in the positive-sequence, the negative-sequence and the zero-sequence system (clause 2) and the practical execution of calculations in a low-voltage system (clause 3), a medium-voltage system with asynchronous motors (clause 4) and a power-station unit with its auxiliary network feeding a large number of medium-voltage asynchronous motors and low-voltage motor groups (clause 5).

The three examples given in clauses 3, 4 and 5 are similar to those given in IEC 60909 (1988) but they are revised in accordance with IEC 60909-0, which replaces it.

A subclause is added to the example in clause 3 to give a comparison between the results found with the application of the equivalent voltage source at the short-circuit location following the procedure given in IEC 60909-0 on the one hand, and results found with the superposition method on the other hand, taking into account different load-flow conditions before the short circuit.

Clause 6 of this technical report gives the circuit diagram and the data of a test network and the results for a calculation carried out in accordance with IEC 60909-0, to offer the possibility for a comparison between the results found with a digital program for the calculation of short-circuit currents and the given results for I_k'' , i_p , I_b , I_k , I_{k1}'' and i_{p1} in a high-voltage network with power-station units, generators, asynchronous motors and lines in four different voltage levels 380 kV, 110 kV, 30 kV and 10 kV.

1.2 Reference documents

IEC 60038:1983, *IEC Standard voltages*

IEC 60909-0:2000, *Short-circuit currents in three-phase a.c. systems – Part 0: Calculation of currents*

IEC 60909-1:1991, *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 60909*

IEC 60909-2:1992, *Electrical equipment – Data for short-circuit current calculations in accordance with IEC 60909*

CEI 60909-3:1995, *Calculs des courants de court-circuit dans les réseaux triphasés à courant alternatif – Partie 3: Courant durant deux court-circuits monophasés simultanés séparés à la terre et courants de court-circuit partiels s'écoulant à travers la terre*

CEI 60865-1:1993, *Courants de court-circuit – Calcul des effets – Partie 1: Définitions et méthodes de calcul*

IEC 60909-3:1995, *Short-circuit currents 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*

IEC 60865-1:1993, *Short-circuit currents – Calculation of effects – Part 1: Definitions and calculation methods*