

**RAPPORT  
TECHNIQUE  
TECHNICAL  
REPORT**

**CEI  
IEC**

**TR 60909-4**

Première édition  
First edition  
2000-07

---

---

**Courants de court-circuit dans les réseaux  
triphasés 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**



Numéro de référence  
Reference number  
IEC/TR 60909-4:2000

## Numéros des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000.

## Publications consolidées

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

## 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 dans le Catalogue de la CEI.

Les renseignements relatifs à des questions à l'étude et des travaux en cours entrepris par le comité technique qui a établi cette publication, ainsi que la liste des publications établies, se trouvent dans les documents ci-dessous:

- «Site web» de la CEI\*
- **Catalogue des publications de la CEI**  
Publié annuellement et mis à jour régulièrement  
(Catalogue en ligne)\*
- **Bulletin de la CEI**  
Disponible à la fois au «site web» de la CEI\* et comme périodique imprimé

## Terminologie, symboles graphiques et littéraux

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60050: *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI)*.

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera la CEI 60027: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*, la CEI 60417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*, et la CEI 60617: *Symboles graphiques pour schémas*.

\* Voir adresse «site web» sur la page de titre.

## Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series.

## Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

## 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 in the IEC catalogue.

Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is to be found at the following IEC sources:

- **IEC web site\***
- **Catalogue of IEC publications**  
Published yearly with regular updates  
(On-line catalogue)\*
- **IEC Bulletin**  
Available both at the IEC web site\* and as a printed periodical

## Terminology, graphical and letter symbols

For general terminology, readers are referred to IEC 60050: *International Electrotechnical Vocabulary (IEV)*.

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications IEC 60027: *Letter symbols to be used in electrical technology*, IEC 60417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets* and IEC 60617: *Graphical symbols for diagrams*.

\* See web site address on title page.

RAPPORT  
TECHNIQUE  
TECHNICAL  
REPORT

CEI  
IEC

TR 60909-4

Première édition  
First edition  
2000-07

---

---

**Courants de court-circuit dans les réseaux  
triphasés 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](mailto: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 $I_{kl}''$ 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 $U_n = 400\text{ V}$ .....	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.

Withdrawing

iTeh Standards  
(<https://standards.iteh.ai>)  
Document Preview

<https://standards.iteh.ai/standards/iec/a53980a7-bb0b-465e-ac58-09099c907f23/iec-tr-60909-4-2000>

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.

Withdrawing

iTeh Standards  
(<https://standards.iteh.ai>)  
Document Preview

<https://standards.iteh.ai/Catalogue/standards/iec/a52980a7-bb0b-465e-ac58-09099c907f23/iec-tr-60909-4-2000>

# 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*

### 1.3 Définitions, symboles et indices, et équations

Les définitions, les symboles et indices, ainsi que les équations, sont les mêmes que ceux utilisés dans la CEI 60909-0.

## 2 Impédances directe, inverse et homopolaire des matériels électriques

On donne, en complément de l'article 3 de la CEI 60909-0 la représentation et le calcul des impédances directe, inverse et homopolaire des matériels électriques. Dans la plupart des cas, les impédances inverses sont égales aux impédances directes lorsqu'on calcule les courants de court-circuit initiaux, mais voir 3.6.1 de la CEI 60909-0 et la CEI 60909-2.

### 2.1 Lignes aériennes, câbles et réactances de limitation du courant de court-circuit

La figure 1 montre la signification et la mesure fictive des impédances directe et homopolaire des lignes aériennes avec un circuit L1, L2, L3.

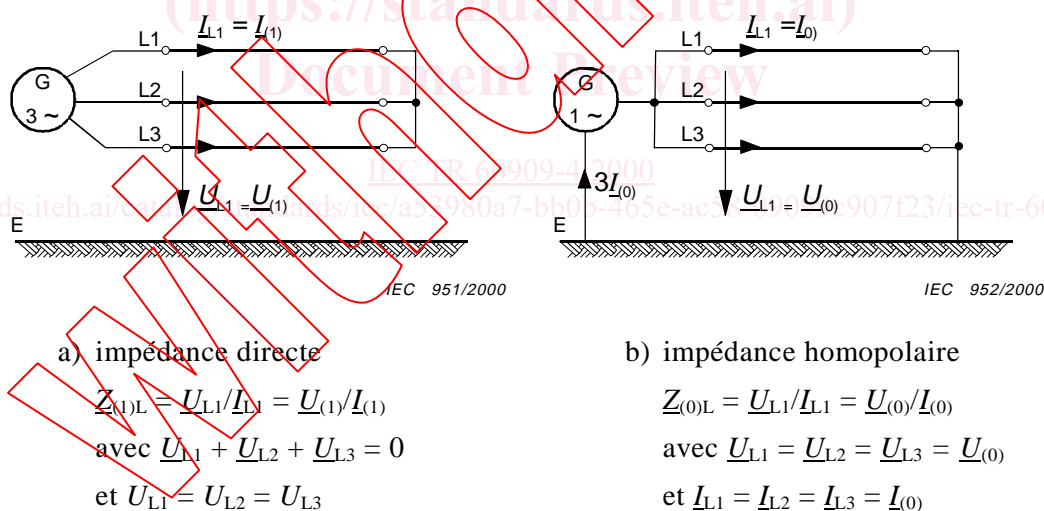


Figure 1 – Impédances directe et homopolaire d'une ligne aérienne (ligne simple)

En pratique, la mesure de la tension  $U_{L1}$  et du courant  $I_{L1}$  conduit à la valeur absolue  $Z$  de l'impédance. Avec la mesure de la perte totale  $P_V$  dans le cas du courant  $I_{L1}$  il est possible de trouver la valeur complexe  $\underline{Z}$  de l'impédance:

$$Z = \frac{U_{L1}}{I_{L1}}; \quad R = \frac{P_V}{3I_{L1}^2}; \quad X = \sqrt{Z^2 - R^2}; \quad \underline{Z} = R + j X$$