

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

61660-1

Première édition
First edition
1997-06

**Courants de court-circuit dans les installations
auxiliaires alimentées en courant continu
dans les centrales et les postes –**

Partie 1:

Calcul des courants de court-circuit

(standards.iteh.ai)

**Short-circuit currents in d.c. auxiliary installations
in power plants and substations –**

Part 1:

Calculation of short-circuit currents



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 61660-1: 1997

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 60050: *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 60027: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*;
- la CEI 60417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*;
- la CEI 60617: *Symboles graphiques pour schémas*;

et pour les appareils électromédicaux,

- la CEI 60878: *Symboles graphiques pour équipements électriques en pratique médicale*.

Les symboles et signes contenus dans la présente publication ont été soit tirés de la CEI 60027, de la CEI 60417, de la CEI 60617 et/ou de la CEI 60878, 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 60050: *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 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*;
- IEC 60617: *Graphical symbols for diagrams*;

and for medical electrical equipment,

- IEC 60878: *Graphical symbols for electromedical equipment in medical practice*.

The symbols and signs contained in the present publication have either been taken from IEC 60027, IEC 60417, IEC 60617 and/or IEC 60878, 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

CEI
IEC

INTERNATIONAL
STANDARD

61660-1

Première édition
First edition
1997-06

**Courants de court-circuit dans les installations
auxiliaires alimentées en courant continu
dans les centrales et les postes –**

Partie 1:

Calcul des courants de court-circuit

(standards.iteh.ai)

**Short-circuit currents in d.c. auxiliary installations
in power plants and substations –**

Part 1:

Calculation of short-circuit currents

© IEC 1997 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.

International Electrotechnical Commission
Telefax: +41 22 919 0300

3, rue de Varembe Geneva, Switzerland
e-mail: inmail@iec.ch IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

V

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

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	4
Articles	
1 Généralités.....	6
1.1 Domaine d'application et objet	6
1.2 Références normatives	6
1.3 Définitions	8
1.4 Symboles et indices	10
2 Calcul des courants de court-circuit	14
2.1 Généralités.....	14
2.2 Méthodes de calcul	19
2.3 Résistance et inductance du conducteur	24
2.4 Redresseur.....	26
2.5 Batterie.....	35
2.6 Condensateur	40
2.7 Moteur à courant continu à excitation indépendante	48
3 Calcul du courant de court-circuit total.....	58
3.1 Facteur de correction.....	58
3.2 Superposition des courants de court-circuit partiels au point de défaut	60
3.3 Fonction d'approximation normale.....	62
Annexe A – Equations pour le calcul de λ_D , κ_D , κ_C et t_{pC}	66

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
Clause	
1 General	7
1.1 Scope and object	7
1.2 Normative references.....	7
1.3 Definitions	9
1.4 Symbols and subscripts	11
2 Calculation of short-circuit currents.....	15
2.1 General	15
2.2 Calculating methods	21
2.3 Resistance and inductance of conductor	25
2.4 Rectifier.....	27
2.5 Battery.....	37
2.6 Capacitor	41
2.7 DC motor with independent excitation	49
3 Calculation of the total short-circuit current	59
3.1 Correction factor.....	59
3.2 Superimposing the partial short-circuit currents at the short-circuit location	61
3.3 Standard approximation function	63
Annex A – Equations for the calculation of λ_D , κ_D , κ_C and t_{pC}	67

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**COURANTS DE COURT-CIRCUIT DANS LES INSTALLATIONS
AUXILIAIRES ALIMENTÉES EN COURANT CONTINU
DANS LES CENTRALES ET LES POSTES –**

Partie 1: Calcul des courants de court-circuit

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 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, 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 de la présente Norme internationale 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 Norme internationale CEI 61660-1 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:

FDIS	Rapport de vote
73/84/FDIS	73/97/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.

L'annexe A est donnée uniquement à titre d'information.

La CEI 61660 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général: *Courants de court-circuit dans les installations auxiliaires alimentées en courant continu dans les centrales et les postes*:

- Partie 1: 1997, *Calcul des courants de court-circuit*
- Partie 2: 1997, *Calcul des effets*
- Partie 3: 199X, *Exemples de calcul* (en préparation).

Le contenu des corrigenda de février 1999 et mars 2000 a été pris en considération dans cet exemplaire.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

SHORT-CIRCUIT CURRENTS IN DC AUXILIARY INSTALLATIONS IN POWER PLANTS AND SUBSTATIONS –

Part 1: 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 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 International Standard may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard 61660-1 has been prepared by IEC technical committee 73: Short-circuit currents.

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

FDIS	Report on voting
73/84/FDIS	73/97/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.

Annex A is for information only.

IEC 61660 consists of the following parts, under the general title: *Short-circuit currents in d.c. auxiliary installations in power plants and substations*:

- Part 1: 1997, *Calculation of short-circuit currents*
- Part 2: 1997, *Calculation of effects*
- Part 3: 199X, *Examples of calculations* (in preparation).

The contents of the corrigenda of February 1999 and March 2000 have been included in this copy.

COURANTS DE COURT-CIRCUIT DANS LES INSTALLATIONS AUXILIAIRES ALIMENTÉES EN COURANT CONTINU DANS LES CENTRALES ET LES POSTES –

Partie 1: Calcul des courants de court-circuit

1 Généralités

1.1 *Domaine d'application et objet*

La présente partie de la CEI 61660 décrit une méthode de calcul des courants de court-circuit des réseaux auxiliaires en courant continu dans des centrales et des postes. Ces réseaux peuvent être équipés des éléments suivants, agissant comme sources de courants de court-circuit:

- redresseurs dans des ponts triphasés en courant alternatif pour 50 Hz;
- batteries stationnaires au plomb;
- condensateurs de lissage;
- moteurs à courant continu avec excitation indépendante.

NOTE – Les redresseurs dans des ponts triphasés en courant alternatif pour 60 Hz sont à l'étude. Les informations concernant d'autres matériels peuvent être données par le constructeur.

La présente norme prend en compte seulement les redresseurs dans des ponts triphasés en courant alternatif. Elle ne concerne pas les autres types de redresseurs.

L'objet de cette norme est de fournir une méthode générale de calcul donnant des résultats suffisamment précis et par excès. Des méthodes spéciales adaptées à des circonstances particulières peuvent être utilisées si elles donnent au moins la même précision. Les courants de court-circuit, les résistances et les inductances peuvent être vérifiés à partir de réseaux d'essai ou des mesures sur des réseaux modèles. Dans les réseaux existants en courant continu, les valeurs indispensables peuvent être vérifiées d'après des mesures prises au point de court-circuit présumé. Le courant de charge n'est pas pris en considération pour le calcul du courant de court-circuit. Il est nécessaire de faire la distinction entre deux différentes valeurs de courant de court-circuit:

- le courant de court-circuit maximal, qui détermine les caractéristiques assignées du matériel électrique;
- le courant de court-circuit minimal, qui peut être pris comme base pour l'installation et les caractéristiques des fusibles et des protections.

1.2 *Références normatives*

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente partie de la CEI 61660. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Tout document normatif est sujet à révision et les parties prenantes aux accords fondés sur la présente partie de la CEI 61660 sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

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

SHORT-CIRCUIT CURRENTS IN DC AUXILIARY INSTALLATIONS IN POWER PLANTS AND SUBSTATIONS –

Part 1: Calculation of short-circuit currents

1 General

1.1 *Scope and object*

This part of IEC 61660 describes a method for calculating short-circuit currents in d.c. auxiliary systems in power plants and substations. Such systems can be equipped with the following equipment, acting as short-circuit current sources:

- rectifiers in three-phase a.c. bridge connection for 50 Hz;
- stationary lead-acid batteries;
- smoothing capacitors;
- d.c. motors with independent excitation.

NOTE – Rectifiers in three-phase a.c. bridge connection for 60 Hz are under consideration. The data of other equipment may be given by the manufacturer.

This standard is only concerned with rectifiers in three-phase a.c. bridge connection. It is not concerned with other types of rectifiers.

The purpose of the standard is to provide a generally applicable method of calculation which produces results of sufficient accuracy on the conservative side. Special methods, adjusted to particular circumstances, may be used if they give at least the same precision. Short-circuit currents, resistances and inductances may also be ascertained from system tests or measurements on model systems. In existing d.c. systems the necessary values can be ascertained from measurements taken at the assumed short-circuit location. The load current is not taken into consideration when calculating the short-circuit current. It is necessary to distinguish between two different values of short-circuit current:

- the maximum short-circuit current which determines the rating of the electrical equipment;
- the minimum short-circuit current which can be taken as the basis for fuse and protection ratings and settings.

1.2 *Normative references*

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this part of IEC 61660. At the time of publication, the edition indicated was valid. All normative documents are subject to revision, and parties to agreements based on this part of IEC 61660 are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 60038: 1983, *IEC standard voltages*

CEI 60050(151): 1978, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 151: Dispositifs électriques et magnétiques*

CEI 60050 (441): 1984, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 441: Appareillage et fusibles*

CEI 60896-1: 1987, *Batteries stationnaires au plomb – Prescriptions générales et méthodes d'essai – Partie 1: Batteries au plomb du type ouvert.*
 Modification 1 (1988).
 Amendement 2 (1990)

CEI 60909: 1988, *Calcul des courants de court-circuit dans les réseaux triphasés à courant alternatif*

CEI 61660-2: 1997, *Calculs des courants de court-circuit dans les installations auxiliaires alimentées en courant continu dans les centrales et les postes – Partie 2: Calcul des effets*

1.3 Définitions

Pour les besoins de la présente partie de la CEI 61160, les définitions suivantes sont applicables.

1.3.1 **court-circuit:** Connexion accidentelle ou intentionnelle, par une résistance ou une impédance relativement faible de deux ou plusieurs points d'un circuit se trouvant normalement à des tensions différentes. [VEI 151-03-41]

NOTE – Dans cette norme le branchement est supposé avoir une impédance égale à zéro.

1.3.2 **courant de court-circuit:** Surintensité résultant d'un court-circuit dû à un défaut ou un branchement incorrect dans un circuit électrique. [VEI 441-11-07]

NOTE – Il y a lieu de distinguer entre le courant de court-circuit au point de défaut et le courant de court-circuit circulant dans les branches du réseau.

1.3.3 **courant de court-circuit partiel:** Courant de court-circuit au point de défaut alimenté par une source, les autres sources étant débranchées.

1.3.4 **branche commune:** Branche de réseau avec plusieurs courants de court-circuit partiels provenant de différentes sources.

1.3.5 **courant de court-circuit symétrique initial I_k'' :** Valeur efficace de la composante symétrique alternative d'un courant de court-circuit présumé à l'instant d'apparition du court-circuit, si l'impédance conserve sa valeur initiale.

1.3.6 **courant de crête de court-circuit i_p :** Valeur maximale instantanée du courant de court-circuit présumé, côté courant continu (figures 1 et 2).

1.3.7 **courant de court-circuit quasi permanent I_k :** Valeur du courant de court-circuit côté courant continu 1 s après le début du court-circuit.

1.3.8 **temps pour atteindre la crête t_p :** Temps entre le début du court-circuit et la valeur crête du courant de court-circuit (figures 1 et 2).

1.3.9 **durée du court-circuit T_k :** Temps entre le début du court-circuit et la coupure du courant continu de court-circuit.

1.3.10 **tension nominale du réseau U_n :** Tension (entre phases) désignant un réseau alternatif triphasé et à laquelle certaines caractéristiques de fonctionnement font référence. Les valeurs sont données dans la CEI 60038.

IEC 60050(151): 1978, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 151: Electrical and magnetic devices*

IEC 60050(441): 1984, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 441: Switchgear, controlgear and fuses*

IEC 60896-1: 1987, *Stationary lead-acid batteries – General requirements and methods of test – Part 1: Vented types*
Amendment 1 (1988)
Amendment 2 (1990)

IEC 60909: 1988, *Short-circuit current calculation in three-phase a.c. systems*

IEC 61660-2: 1997, *Short-circuit currents in d.c. auxiliary installations in power plants and substations – Part 2: Calculation of effects*

1.3 Définitions

For the purpose of this part of IEC 61660, the following definitions apply.

1.3.1 **short circuit:** The accidental or intentional connection, by a relatively low resistance or impedance, of two or more points in a circuit which are normally at different voltages. [IEV 151-03-41]

NOTE – In this standard the connection is assumed to have zero impedance.

1.3.2 **short-circuit current:** An over-current resulting from a short circuit due to a fault or an incorrect connection in an electric circuit. [IEV 441-11-07]

NOTE – It is necessary to distinguish between the short-circuit current at the short-circuit location and in the network branches.

1.3.3 **partial short-circuit current:** The short-circuit current at the short-circuit location being fed from one source with all other sources disconnected.

1.3.4 **common branch:** A network branch with several partial short-circuit currents from different sources.

1.3.5 **initial symmetrical short-circuit current I_k'' :** The r.m.s. value of the a.c. symmetrical component of a prospective short-circuit current applicable at the instant of short circuit if the impedance remains at zero time value.

1.3.6 **peak short-circuit current i_p :** The maximum possible instantaneous value of the prospective short-circuit current at the d.c. side (figures 1 and 2).

1.3.7 **quasi steady-state short-circuit current I_k :** The value of the short-circuit current at the d.c. side 1 s after the beginning of the short circuit.

1.3.8 **time to peak t_p :** The interval between the initiation of the short circuit and the peak value of the short-circuit current (figures 1 and 2).

1.3.9 **short-circuit duration T_k :** The time interval between the initiation of the short circuit and the breaking of the d.c. short-circuit current.

1.3.10 **nominal system voltage U_n :** Voltage (line-to-line) by which a three-phase a.c. system is designated and to which certain operating characteristics are referred. Values are given in IEC 60038.

1.3.11 **tension nominale U_{nB} d'une batterie au plomb:** La tension nominale d'une batterie au plomb est donnée par le constructeur. Si la valeur est inconnue, la tension nominale d'un élément de 2,0 V multipliée par le nombre d'éléments en série, peut être utilisée.

1.3.12 **batterie stationnaire:** Batterie conçue pour une utilisation à poste fixe et qui est en permanence raccordée à la charge et au circuit de charge associée à la batterie (voir CEI 60896-1).

1.3.13 **tension finale d'une batterie (tension à la fin de la décharge):** Tension minimale admise après un temps spécifié de décharge.

1.4 Symboles et indices

Toutes les équations sont écrites sans spécifier les unités. Les symboles représentent des quantités ayant à la fois des valeurs numériques et des dimensions qui sont indépendantes des unités pourvu qu'un système cohérent d'unités soit choisi, par exemple le système international des unités (SI).

1.4.1 Symboles

A	Section de conducteur
a	Entraxe entre conducteurs
d	Épaisseur de conducteur rectangulaire
C	Capacité
c	Facteur de tension selon la CEI 60909
$cU_n/\sqrt{3}$	Source de tension équivalente selon la CEI 60909
E_B	Tension en circuit ouvert d'une batterie
f	Fréquence de réseau
b	Hauteur de conducteur rectangulaire
I_k''	Courant de court-circuit symétrique initial triphasé
I_k	Courant de court-circuit quasi permanent
I_r	Courant assigné
i	Valeur instantanée du courant
i_1, i_2	Sections de la fonction d'approximation normale
i_{Br}	Courant de court-circuit dans une branche
i_p	Courant de court-circuit de crête
i_{cor}	Courant corrigé
J	Moment d'inertie de l'ensemble de la partie rotative
k_{1C}, k_{2C}	Facteurs pour le calcul des constantes du temps de croissance et du temps de décroissance du courant capacitif
k_{1M}	Facteur pour le calcul du temps pour atteindre la crête du courant du moteur
k_{2M}, k_{3M}	Facteurs pour le calcul des constantes de temps de croissance du courant du moteur
k_{4M}	Facteur pour le calcul des constantes de temps de décroissance du courant du moteur
L, L'	Inductance/Inductance par unité
L_F	Inductance saturée équivalente du circuit de charge en cas de court-circuit

1.3.11 nominal voltage U_{nB} of a lead-acid battery: The nominal voltage of a lead-acid battery is given by the manufacturer. If the value is unknown, then the nominal voltage of one cell 2,0 V multiplied by the number of cells in series may be used.

1.3.12 stationary battery: A battery designed for service in a fixed location and which is permanently connected to the load and to the associated battery charging circuit (see IEC 60896-1).

1.3.13 final voltage of a battery (end-of-discharge voltage): The minimum permissible voltage after a specified discharge time.

1.4 Symbols and subscripts

All equations are written without specifying units. The symbols represent quantities possessing both numerical values and dimensions that are independent of units, provided a coherent unit system is chosen, for example the International System of Units (SI).

1.4.1 Symbols

A	Conductor cross-section
a	Centre-line distance between conductors
d	Thickness of rectangular conductor
C	Capacitance
c	Voltage factor according to IEC 60909
$cU_n/\sqrt{3}$	Equivalent voltage source according to IEC 60909
E_B	Open-circuit voltage of a battery
f	System frequency
b	Height of rectangular conductor
I_k''	Three-phase initial symmetrical short-circuit current
I_k	Quasi steady-state short-circuit current
I_r	Rated current
i	Instantaneous value of current
i_1, i_2	Sections of the standard approximation function
i_{Br}	Short-circuit current in a branch
i_p	Peak short-circuit current
i_{cor}	Corrected current
J	Moment of inertia of the whole rotating part
k_{1C}, k_{2C}	Factors for calculating the rise-time and decay-time constant of the capacitor current
k_{1M}	Factor for calculating the time to peak of the motor current
k_{2M}, k_{3M}	Factors for calculating the rise-time constant of the motor current
k_{4M}	Factor for calculating the decay-time constant of the motor current
L, L'	Inductance, inductance per unit length
L_F	Equivalent saturated inductance of the field circuit at short circuit

L_{OF}	Inductance non saturée équivalente du circuit de charge à charge nulle
l	Longueur
M_r	Couple assigné d'un moteur
n, n_o, n_n	Vitesse de moteur/vitesse de moteur à charge nulle/vitesse nominale de moteur
ρ	Rapport I_k/I_p
R, R'	Résistance/résistance par unité
R_{joint}	Résistance de jonction
r	Rayon du conducteur
T_k	Durée du court-circuit
t	Temps
t_p	Temps jusqu'à la crête
U	Tension au point de court-circuit avant le court-circuit
U_n	Tension normale de réseau triphasé à courant alternatif, entre-phase (valeur efficace)
U_{nB}	Tension nominale d'une batterie
X	Réactance
Z_N	Impédance du réseau triphasé à courant alternatif
δ	Coefficient de décroissance
κ	Facteur pour le calcul du courant de court-circuit de crête
λ_d	Facteur pour le calcul du courant de court-circuit quasi permanent du redresseur
μ_o	Perméabilité absolue du vide, $\mu_o = 4 \pi \cdot 10^{-7}$ H/m
ρ	Résistivité
σ	Facteur de correction pour le courant de court-circuit partiel
τ_M	Constante de temps de l'armature du moteur
τ_F	Constante de temps du circuit de champ du moteur
τ_{mec}	Constante de temps mécanique du moteur
τ_1, τ_2	Constante de temps de croissance/de décroissance de la fonction d'approximation normale
ω_o, ω_d	Fréquence angulaire propre sans/avec amortissement

1.4.2 Indices

a.c.	Courant alternatif
B	Batterie
Br	Branche côté courant continu
C	Condensateur
cor	Corrigé
D	Redresseur
d.c.	Courant continu
F	Point du court-circuit
F	Circuit de champ du moteur

L_{OF}	Equivalent unsaturated inductance of the field circuit at no-load
l	Length
M_r	Rated torque of the motor
n, n_o, n_n	Motor speed, no-load motor speed, nominal motor speed
ρ	Ratio I_k/I_p
R, R'	Resistance, resistance per unit length
R_{joint}	Joint resistance
r	Radius of the conductor
T_k	Short-circuit duration
t	Time
t_p	Time to peak
U	Voltage at the short-circuit location before short circuit
U_n	Nominal system voltage of the three-phase a.c. system, line-to-line (r.m.s.)
U_{nB}	Nominal voltage of a battery
X	Reactance
Z_N	Impedance of the three-phase a.c. network
δ	Decay coefficient
κ	Factor for calculating the peak short-circuit current
λ_D	Factor for calculating the quasi steady-state short-circuit current of the rectifier
μ_o	Absolute permeability of vacuum, $\mu_o = 4 \pi \cdot 10^{-7}$ H/m
ρ	Resistivity
σ	Correction factor for the partial short-circuit current
τ_M	Armature time constant of the motor
τ_F	Field circuit time constant of the motor
τ_{mec}	Mechanical time constant of the motor
τ_1, τ_2	Rise-time, decay-time constants of the standard approximation function
ω_o, ω_d	Undamped, damped natural angular frequency

1.4.2 Subscripts

a.c.	Alternating current
B	Battery
Br	Branch on the d.c. side
C	Capacitor
cor	Corrected
D	Rectifier
d.c.	Direct current
F	Short-circuit location
F	Field circuit of the motor