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

**Partie 1:
Facteurs pour le calcul des courants de
court-circuit conformément à la CEI 60909-0**

*Cette version **française** découle de la publication d'origine **bilingue** dont les pages anglaises ont été supprimées. Les numéros de page manquants sont ceux des pages supprimées.*

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

**Partie 1:
Facteurs pour le calcul des courants de
court-circuit conformément à la CEI 60909-0**

© IEC 2002 Droits de reproduction réservés

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.

International Electrotechnical Commission, 3, rue de Varembe, PO Box 131, CH-1211 Geneva 20, Switzerland
Telephone: +41 22 919 02 11 Telefax: +41 22 919 03 00 E-mail: inmail@iec.ch Web: www.iec.ch



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	10
1 Généralités	14
1.1 Domaine d'application et objet.....	14
1.2 Documents de référence.....	14
1.3 Application des facteurs	14
1.3.1 Facteur c	14
1.3.2 Facteurs K_G et K_S ou K_{SO}	14
1.3.3 Facteurs $K_{G,S}$, $K_{T,S}$ ou $K_{G,SO}$, $K_{T,SO}$	14
1.3.4 Facteur K_T	14
1.3.5 Facteur κ	16
1.3.6 Facteurs μ , λ et q	16
1.3.7 Facteurs m et n	16
1.3.8 Contribution des moteurs asynchrones au courant de court-circuit symétrique initial.....	16
1.4 Symboles, indices inférieurs et supérieurs.....	16
1.4.1 Symboles.....	16
1.4.2 Indices inférieurs.....	18
1.4.3 Indices supérieurs.....	18
2 Facteurs utilisés dans la CEI 60909-0.....	18
2.1 Facteur de tension c relatif à la source de tension équivalente au point de court-circuit	18
2.1.1 Généralités	18
2.1.2 Méthodes de calcul	20
2.1.3 Source de tension équivalente au point de court-circuit et facteur de tension c	20
2.1.4 Exemple simple illustrant l'importance du facteur c	22
2.2 Facteurs de correction d'impédance pour le calcul des impédances de court-circuit des alternateurs et des groupes de production	30
2.2.1 Généralités	30
2.2.2 Facteur de correction K_G	32
2.2.3 Facteurs de correction pour les groupes de production avec changeur de prise en charge	36
2.2.4 Facteurs de correction des groupes de production sans changeur de prise en charge	58
2.2.5 Influence du facteur de correction d'impédance pour les groupes de production lors du calcul des courants de court-circuit dans les réseaux maillés et des courants maximaux dans les plus mauvaises conditions de charge.....	66
2.3 Facteur de correction d'impédance K_T sur le calcul des impédances de court-circuit des transformateurs de réseau	72
2.3.1 Généralités	72
2.3.2 Exemple pour un transformateur de réseau $S_{rT} = 300$ MVA	74
2.3.3 Examen statistique des 150 transformateurs de réseau.....	82
2.3.4 Facteurs de correction d'impédance pour les transformateurs de réseau dans les réseaux maillés.....	84

2.4	Facteur κ pour le calcul du courant de court-circuit crête	88
2.4.1	Généralités	88
2.4.2	Facteur κ pour les circuits série R-L.....	88
2.4.3	Facteur κ des branches en parallèle R-L-Z	94
2.4.4	Calcul de la valeur de crête i_p du courant de court-circuit dans les réseaux maillés	100
2.4.5	Exemple de calcul de κ et de i_p dans des réseaux maillés.....	104
2.5	Facteur μ utilisé pour le calcul du courant de court-circuit symétrique coupé	106
2.5.1	Généralités	106
2.5.2	Principe de base	108
2.5.3	Calcul du courant de court-circuit symétrique coupé I_b à l'aide du facteur μ	112
2.6	Facteur λ (λ_{\max} , λ_{\min}) utilisé pour le calcul du courant de court-circuit permanent..	118
2.6.1	Généralités	118
2.6.2	Influence de la saturation du fer	120
2.7	Facteur q utilisé pour le calcul du courant de court-circuit coupé des moteurs asynchrones	126
2.7.1	Généralités	126
2.7.2	Calcul du facteur q	128
2.7.3	Courants de court-circuit dans le cas de courts-circuits dissymétriques.....	134
2.8	Facteurs m et n utilisés pour le calcul de l'intégrale de Joule ou du courant de court-circuit thermique équivalent	136
2.8.1	Généralités	136
2.8.2	Courant de court-circuit triphasé en fonction du temps	138
2.8.3	Facteur m	138
2.8.4	Facteur n	140
2.8.5	Facteur n dans la CEI 60909-0, figure 22	142
2.9	Evaluation de la contribution des moteurs ou des groupes de moteurs asynchrones (moteurs équivalents) au courant de court-circuit symétrique initial	146
2.9.1	Généralités	146
2.9.2	Court-circuit aux bornes des moteurs asynchrones	146
2.9.3	Courants de court-circuit partiel des moteurs asynchrones alimentés par l'intermédiaire de transformateurs	148
2.9.4	Somme des courants de court-circuit partiels de plusieurs groupes de moteurs asynchrones alimentés par l'intermédiaire de plusieurs transformateurs	152
	Bibliographie	158
	Figure 1 – Modèle pour établir la relation entre les chutes de tension Δu et l'écart du courant de court-circuit $\Delta i_k''$	22
	Figure 2 – Calcul de $\Delta i_k''$ selon l'équation (8) pour différents paramètres	28
	Figure 3 – Courant de court-circuit partiel $I_{kG(S)}''$ d'un alternateur raccordé directement à un réseau.....	32
	Figure 4 – Calcul de $I_{kG(S)}''$ par la méthode de superposition	34
	Figure 5 – Courant de court-circuit symétrique partiel I_{kS}'' d'un groupe de production S, côté haute tension d'un transformateur avec changeur de prise en charge	38
	Figure 6 – Simulation d'un groupe de production avec changeur de prise en charge	40
	Figure 7 – Courant de court-circuit partiel d'un groupe de production trouvé par la méthode de superposition	44
	Figure 8 – Fréquence cumulée H des écarts calculés avec l'équation (33) [22] et [23]	46

Figure 9 – Groupe de production avec chargeur de prise en charge et transformateur auxiliaire F1, F2, F3: emplacements de courts-circuits ($I''_{kMF1} = I''_{kMF2}$)48

Figure 10 – Fréquence cumulée H des écarts $\Delta_{G(v)}$ selon l'équation (39) pour les courants de court-circuit partiels des alternateurs dans les 47 groupes de production avec chargeur de prise en charge [23]. Emplacement du court-circuit F1 à la figure 952

Figure 11 – Fréquence cumulée H des écarts $\Delta_{T(v)}$ conformément à l'équation (42) pour les courants de court-circuit partiel des transformateurs dans les 47 groupes de production avec chargeur de prise en charge [23]. Emplacement du court-circuit F1 à la figure 9.54

Figure 12 – Fréquence cumulée H des écarts $\Delta_{T(v)}$ selon l'équation (42), voir la figure 11, si seulement le fonctionnement dans la zone de surexcitation est autorisé pour le calcul de $I''_{kT(S)}$ [23]56

Figure 13 – Fréquence cumulée H des écarts $\Delta_{F2(v)}$ conformément à l'équation (46) pour le courant de court-circuit partiel I''_{kF2} (figure 9) en cas de fonctionnement en surexcitation ou en sous-excitation avant le court-circuit.....58

Figure 14 – Fréquence cumulée H des écarts calculés avec l'équation (50), [22] et [23].....60

Figure 15 – Fréquence cumulée H des écarts calculés avec l'équation (39) pour 27 alternateurs de groupes de production sans changeur de prise en charge.....62

Figure 16 – Fréquence cumulée H des écarts calculés de l'équation (42) pour 27 transformateurs de groupe de production sans changeur de prise en charge64

Figure 17 – Fréquence cumulée H des écarts calculés avec l'équation (46) pour le courant de court-circuit partiel I''_{kF2} (figure 9) dans le cas de groupes de production sans changeur de prise en charge66

Figure 18 – Fréquence cumulée H des écarts Δ [13]70

Figure 19 – Calcul de $I''_{kT(S)} = I''^b + I''_{kTU}^b$ avec la méthode de superposition [19] et [25]74

Figure 20 – Courants de court-circuit $I''_{kT(S)}$ dépendant de t , U^b et de S''_{kQ} pour le transformateur de réseau $S_{rT} = 300$ MVA (données voir texte)76

Figure 21 – Ecart Δ_{NT} calculés avec l'équation (64) pour le transformateur $S_{rT} = 300$ MVA80

Figure 22 – Fréquence cumulée H des écarts Δ_{NT} calculée avec l'équation (64)
1: $K_T = 1,0$; 2: K_T selon l'équation (63) avec $I_T^b / I_{rT} = 1$ 84

Figure 23 – Calcul du facteur κ dans le cas d'un court-circuit triphasé à simple alimentation (circuit séries R-L).....90

Figure 24 – Facteur κ et t_p ($f = 50$ Hz) en fonction de R/X ou de X/R 94

Figure 25 – Schéma du circuit équivalent utilisé pour le calcul de κ dans le cas de deux branches en parallèle (système direct).....96

Figure 26 – Facteur κ pour le calcul de $i_p = \kappa \sqrt{2} I''_k$ dans le cas de deux branches en parallèle, comme indiqué sur la figure 25, avec $Z_I = Z_{II}$, $0,005 \leq R_I/X_I \leq 1,0$ et $0,005 \leq R_{II}/X_{II} \leq 10,0$ 98

Figure 27 – Ecart $\Delta \kappa_a$, $\Delta (1,15 \kappa_b)$ et $\Delta \kappa_c$ par rapport à la valeur exacte κ comprise dans la plage $0,005 \leq Z_I/Z_{II} \leq 1,0$ pour la configuration de la figure 25100

Figure 28 – Exemple de calcul de κ et de i_p par les méthodes a), b) et c) (CEI 60909-0, 4.3.1.2).....104

Figure 29 – Configuration et caractéristiques du réseau (court-circuit à alimentation unique) et données permettant de montrer la décroissance de la composante alternative symétrique d'un court-circuit proche d'un alternateur110

Figure 30 – Décroissance du courant de court-circuit symétrique (facteur μ) déterminé à partir de mesures effectuées dans des stations d'essai et à partir de calculs [5] 116

Figure 31 – Méthode de la courbe de saturation permettant de calculer la réactance de Potier X_p conformément à [4]..... 122

Figure 32 – Circuit équivalent avec la tension de source $E_0(I_f)$ et la réactance de Potier X_p 122

Figure 33 – Valeurs du facteur q obtenues à partir des valeurs mesurées et calculées de $I_{bM} = \mu q I_{kM}''$, équation (91), pour différents valeurs de t_{min} comparées à $q = q_{IEC}$ (CEI 60909-0, figure 17)..... 128

Figure 34 – Valeurs de μ , q , μq et $e^{-t/T_{AC}}$ en fonction du temps utilisées dans le calcul du courant de court-circuit symétrique coupé $I_{bM} = \mu q I_{kM}''$ dans le cas d'un court-circuit aux bornes d'un moteur synchrone 130

Figure 35 – Constantes de temps réelles T_{AC} pour le calcul du courant de court-circuit symétrique coupé I_{bM} et, en comparaison $T_{\mu q} = -t_{min}/\ln(\mu q)_{IEC}$ 134

Figure 36 – Valeur de I_{bM} / I_{kM}'' en fonction du temps dans le cas d'un court-circuit symétrique (I_{b3M} / I_{kM}'') et d'un courant de court-circuit entre deux phases (I_{b2M} / I_{kM}'') aux bornes d'un moteur asynchrone..... 136

Figure 37 – Contribution d'un moteur asynchrone ou d'un groupe de moteurs asynchrones au courant de court-circuit symétrique initial $I_{-k}'' = I_{-kQ}'' + I_{-kM}''$ 146

Figure 38 – Exemple illustrant l'estimation du courant de court-circuit partiel I_{kM}'' fourni par un seul moteur asynchrone ou un moteur équivalent..... 148

Figure 39 – Courants de court-circuit partiels provenant de plusieurs groupes de moteurs asynchrones alimentés par l'intermédiaire de plusieurs transformateurs (voir les conditions restrictives dans le texte) 152

Figure 40 – Etude de la partie gauche et de la partie droite de l'équation (118) permettant de calculer l'écart Δ selon l'équation (120): $u_{kr} = 0,06 \Rightarrow 6\%$, $I_{LR} / I_{TM} = 5$ pour les transformateurs et les groupes de moteurs 156

Tableau 1 – Tensions et courants avant le court-circuit côté basse tension des transformateurs de réseau 82

Tableau 2 – Résultats des calculs dans les réseaux haute tension maillés avec facteurs de correction d'impédance pour les groupes de production et avec K_T conforme à l'équation (65) pour les écarts Δ par rapport à l'équation (66) [19]..... 86

Tableau 3 – Valeurs de κ pour l'exemple de la figure 28 106

Tableau 4 – Caractéristiques des moteurs asynchrones basse et moyenne tensions (50 Hz) et valeurs calculées 132

Tableau 5 – Résultats pour l'alternateur modèle [15]..... 142

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

**Partie 1: Facteurs pour le calcul des courants de court-circuit
conformément à la CEI 60909-0**

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, 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.

Un rapport technique ne doit pas nécessairement être révisé avant que les données qu'il contient ne soient plus jugées valables ou utiles par le groupe de maintenance.

La CEI 60909-1, qui est un rapport technique, a été établie par le comité d'études 73 de la CEI: Courants de court-circuit.

Le présent rapport technique doit être lu conjointement avec la CEI 60909-0.

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

Projet d'enquête	Rapport de vote
73/120/DTR	73/125/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.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant 2010. A cette date, la publication sera

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

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

Partie 1: Facteurs pour le calcul des courants de court-circuit conformément à la CEI 60909-0

1 Généralités

1.1 Domaine d'application et objet

La présente partie de la CEI 60909 est un rapport technique applicable aux courants de court-circuit dans les réseaux triphasés à courant alternatif. Ce rapport technique vise à indiquer l'origine et l'application, dans les limites nécessaires, des facteurs utilisés pour répondre aux exigences de précision technique et de simplicité lors du calcul des courants de court-circuit conformément à la CEI 60909-0.

Ce rapport technique constitue donc un complément à la CEI 60909-0. Il ne modifie cependant pas les bases de la procédure de calcul normalisée définie dans la CEI 60909-0.

NOTE Dans certains cas, des références sont données à titre d'indications complémentaires, celles-ci ne modifient en rien la procédure définie dans la norme.

1.2 Documents de référence

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

CEI 60909-0:2001, *Courants de court-circuit dans les réseaux triphasés à courant alternatif – Partie 0: Calculs des courants*

CEI/TR 60909-2:1992, *Matériel électrique – Données pour le calcul des courants de court-circuit conformément à la CEI 60909 (1988)*

CEI/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*