

RAPPORT TECHNIQUE

CEI TR 60909-1

Deuxième édition
2002-07

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

Sample Document

get full document from standards.iteh.ai

*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.*



Numéro de référence
CEI TR 60909-1:2002(F)

Numérotation des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000. Ainsi, la CEI 34-1 devient la CEI 60034-1.

Editions 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

Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

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 cette publication, y compris sa validité, sont disponibles dans le Catalogue des publications de la CEI (voir ci-dessous) en plus des nouvelles éditions, amendements et corrigenda. Des informations sur les sujets à l'étude et l'avancement des travaux entrepris par le comité d'études qui a élaboré cette publication, ainsi que la liste des publications parues, sont également disponibles par l'intermédiaire de:

- **Site web de la CEI (www.iec.ch)**

- **Catalogue des publications de la CEI**

Le catalogue en ligne sur le site web de la CEI (www.iec.ch/searchpub) vous permet de faire des recherches en utilisant de nombreux critères, comprenant des recherches textuelles, par comité d'études ou date de publication. Des informations en ligne sont également disponibles sur les nouvelles publications, les publications remplacées ou retirées, ainsi que sur les corrigenda.

- **IEC Just Published**

Ce résumé des dernières publications parues (www.iec.ch/online_news/justpub) est aussi disponible par courrier électronique. Veuillez prendre contact avec le Service client (voir ci-dessous) pour plus d'informations.

- **Service clients**

Si vous avez des questions au sujet de cette publication ou avez besoin de renseignements supplémentaires, prenez contact avec le Service clients:

Email: custserv@iec.ch

Tél: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

**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**

Sample Document

get full document from standards.iteh.ai

© 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.

Sample Document

get full document from standards.iteh.ai

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*

1.3 Application des facteurs

1.3.1 Facteur c

Les facteurs de tension c_{\max} et c_{\min} sont utilisés avec la source de tension équivalente au point de court-circuit pour calculer les courants de court-circuit initiaux, maximal et minimal (voir 2.1).

1.3.2 Facteurs K_G et K_S ou K_{SO}

Les facteurs de correction d'impédance K_G et K_S ou K_{SO} sont introduits quand on calcule les impédances de court-circuit des alternateurs et des groupes de production (avec ou sans changeur de prise de charge) (voir 2.2).

1.3.3 Facteurs $K_{G,S}$, $K_{T,S}$ ou $K_{G,SO}$, $K_{T,SO}$

Les facteurs de correction d'impédance $K_{G,S}$, $K_{T,S}$ ou $K_{G,SO}$, $K_{T,SO}$ sont introduits quand on calcule les courants de court-circuit partiels en cas de court-circuit entre l'alternateur et le transformateur (avec ou sans changeur de prise en charge) d'un groupe de production (voir 2.2.3.2 ou 2.2.4.2).

1.3.4 Facteur K_T

Le facteur de correction d'impédance K_T est utilisé quand on calcule les impédances de court-circuit des transformateurs de réseau (voir 2.3).

1.3.5 Facteur κ

Ce facteur permet de calculer la valeur de crête du courant de court-circuit (voir 2.4).

1.3.6 Facteurs μ , λ et q

Ces facteurs sont utilisés pour calculer la décroissance des composantes alternatives du courant de court-circuit à proximité d'un alternateur ou d'un court-circuit de moteur asynchrone (voir 2.5, 2.6 et 2.7).

1.3.7 Facteurs m et n

Les facteurs m et n sont utilisés pour le calcul de l'intégrale de Joule ou du courant de court-circuit thermique équivalent (voir 2.8).

1.3.8 Contribution des moteurs asynchrones au courant de court-circuit symétrique initial

Calcul et utilisation de l'équation appropriée pour vérifier la contribution des moteurs asynchrones ou des groupes de moteurs asynchrones au courant de court-circuit initial symétrique (voir 2.9).

1.4 Symboles, indices inférieurs et supérieurs

Les symboles et indices suivants sont utilisés en plus de ceux déjà définis dans la CEI 60909-0.

1.4.1 Symboles

E	Tension derrière la réactance synchrone longitudinale X_d d'une machine synchrone
E'	Tension derrière la réactance transitoire longitudinale X_d' d'une machine synchrone
E''	Tension derrière la réactance subtransitoire longitudinale X_d'' d'une machine synchrone
E_Q''	Tension subtransitoire derrière l'impédance d'une branche de réseau connectée en Q
$E_0(I_f)$	Tension aux bornes d'une machine synchrone saturée à vide ($I_G = 0$)
I^b	Courant de branche (courant de charge) avant le court-circuit
I_f	Courant de champ d'une machine synchrone
$i_k(t)$	courant de court-circuit fonction du temps
I_{kUb}''	Courant de court-circuit symétrique initial dû à la tension $-U^b$, pris en compte dans le calcul des courants de court-circuit par la méthode de superposition
p_G ou p_T	Valeurs relatives utilisées pour définir la zone de variation des tensions aux bornes, telles que par exemple $U_G = U_{TG} (1 \pm p_G)$ ou $U_{THV} = U_{TTHV} (1 \pm p_T)$
T_{AC}	Constante de temps alternative d'un moteur asynchrone
T_N''	Valeur moyenne des constantes de temps T_{dN}'' et T_{qN}''
$T_{\mu q}$	Constante de temps calculée à l'aide du produit μq (voir 2.7.2)
t_p	Temps écoulé entre l'apparition d'un court-circuit et la crête du courant de court-circuit
U^b	Tension au point de court-circuit avant l'apparition du court-circuit
X_p	Réactance de Potier
Y	Admittance
γ	Angle d'impédance
Δ	Ecart
φ_U	Angle de tension

1.4.2 Indices inférieurs

0	A vide (T_{d0}'')
a	Approximation
ad	Admissible
d	Longitudinal
e	Exact
f	Champ d'une machine synchrone
IEC	Conformément à la CEI 60909-0, par exemple $K_{S(IEC)}$
i	Interne
L	Charge
MAX	Maximum (courant de court-circuit dans le pire des flots de charge)
N	Réseau
q	Transversal
S	Méthode de superposition
*	Par quantité unitaire

1.4.3 Indices supérieurs

b	Avant
'	Transitoire
"	Subtransitoire

2 Facteurs utilisés dans la CEI 60909-0

2.1 Facteur de tension c relatif à la source de tension équivalente au point de court-circuit

2.1.1 Généralités

L'amplitude d'un courant de court-circuit dans un réseau triphasé à courant alternatif (valeurs maximale et minimale) en n'importe quel point dépend en premier lieu de la configuration du réseau, des alternateurs ou des groupes de production et des moteurs en activité et, en second lieu, du fonctionnement du réseau avant l'apparition du court-circuit.

Les variations en cours de fonctionnement au sein d'un réseau triphasé à courant alternatif sont très importantes. C'est pourquoi il est difficile de connaître la condition de charge précise qui entraîne un courant de court-circuit maximal ou un courant de court-circuit minimal aux différents points du réseau. Dans un réseau donné, il y aura autant d'amplitudes de courant de court-circuit différentes que de conditions de charge possibles pour chaque point. En temps normal, on ne connaît pas de façon empirique les cas de charge extrêmes.

C'est pourquoi la CEI 60909-0 préconise une méthode de calcul utilisant une source de tension équivalente $cU_n / \sqrt{3}$ au point de court-circuit. Cette méthode, décrite en détail dans la CEI 60909-0, est une méthode d'approximation qui ne nécessite pas de conditions de fonctionnement particulières. Cette méthode a pour objet de permettre de calculer les courants de court-circuit maximaux avec une précision suffisante, en tenant compte essentiellement des conditions de sécurité et dans la mesure du possible des aspects économiques.

Lors de la phase d'étude d'un réseau, on ne sait pas quelles seront les différentes conditions de charge possibles. C'est pourquoi, dans le calcul des courants de court-circuit maximal ou minimal, la valeur de la source de tension équivalente $cU_n / \sqrt{3}$ est basée sur la tension nominale du réseau U_n et sur le facteur de tension $c = c_{\max}$ ou $c = c_{\min}$. Ces facteurs c sont donnés dans le tableau 1 de la CEI 60909-0. Il est nécessaire d'introduire le facteur de tension c pour diverses raisons (CEI 60909-0, 1.3.15). Celles-ci sont les suivantes:

- variations de la tension dans l'espace et dans le temps;
- changements de prises des transformateurs;

- non-prise en compte des charges et des capacités dans les calculs selon la CEI 60909-0, (voir 2.3.1);
- comportement subtransitoire des alternateurs, des groupes de production et des moteurs.

L'importance du facteur de tension c est illustrée en 2.1.4, pour un modèle de réseau radial simple. De plus, les résultats de calculs approfondis donnés en 2.2.5 et 2.3.4 montrent les écarts de calcul possibles lorsqu'on utilise une source de tension équivalente au point de court-circuit, par rapport aux valeurs les plus défavorables obtenues par la méthode de superposition.

2.1.2 Méthodes de calcul

Il existe, en principe, deux méthodes de calcul du courant de court-circuit symétrique initial au point de court-circuit (CEI 60909-0, figures 1 et 2) qui sont:

- la méthode de superposition, dérivée du principe de Helmholtz ou du principe de Thevenin;
- la méthode faisant appel à une source de tension équivalente au point de court-circuit (voir 2.1.3).

Des exemples pour la méthode de superposition sont fournis en 2.2 et 2.3. Les résultats de la méthode de superposition y sont comparés avec ceux qui ont été trouvés avec la méthode utilisant la source de tension équivalente au point du court-circuit.

Si on connaît la charge d'un réseau existant, on peut calculer le courant de court-circuit symétrique initial à l'aide de la méthode de superposition, mais cette méthode permet d'obtenir le courant de court-circuit uniquement par rapport à la charge présumée. C'est pourquoi cette méthode ne permet pas nécessairement d'obtenir le courant de court-circuit maximal. La raison est la suivante: pour un point de court-circuit donné, il peut y avoir autant de courants de court-circuit que de conditions de charge, dans les limites des conditions de tension et de courant définies pour un fonctionnement normal, même si on a la même tension de service au point de court-circuit.

Pour palier à ce problème et obtenir le cas de charge le pire qui conduit au courant de court-circuit maximal en un point de court-circuit précis, une méthode spéciale a été mise au point en modifiant les conditions de fonctionnement [9], [13], [26]¹⁾. Ce point est étudié plus en détail en 2.2.5 et 2.3.4.

2.1.3 Source de tension équivalente au point de court-circuit et facteur de tension c

La méthode de calcul du courant de court-circuit symétrique initial à l'aide de la source de tension équivalente au point de court-circuit est décrite dans la CEI 60909-0. Cette méthode, qui repose normalement sur les données assignées du matériel électrique, est beaucoup plus simple que la méthode de superposition ou le calcul de transitoire, car, dans ce cas également, il est nécessaire de connaître les conditions de charge avant l'apparition du court-circuit.

Si on utilise cette méthode simplifiée, la source de tension équivalente $cU_n / \sqrt{3}$ au point de court-circuit est la seule tension active du réseau direct. Toutes les alimentations du réseau, les machines synchrones et les moteurs asynchrones sont mis en court-circuit derrière leurs réactances internes (subtransitoires) (CEI 60909-0, 3.6.1). Les capacités et les admittances en dérivation (charges), à l'exception de celles des moteurs, ne sont pas prises en considération dans les systèmes direct et inverse (CEI 60909-0, 2.3). D'une façon générale, les capacités du système homopolaire seront prises en considération. Les capacités homopolaires ne seront pas prises en considération dans les réseaux basse tension et haute tension effectivement reliés à la terre (facteur de défaut de mise à la terre $\delta \leq 1,4$). Des précautions particulières s'imposent dans le cas de réseaux haute tension ayant des lignes de grande distance et, naturellement, dans le cas des réseaux à neutre isolé ou à impédance de neutre résonant. (CEI 60909-0, 1.1). La figure 4 de la CEI 60909-0 montre un exemple d'application de ce calcul utilisant une source de tension équivalente au point de court-circuit F.

¹⁾ Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie.

Le facteur c_{\max} ou c_{\min} est utilisé comme indiqué dans le tableau 1 de la CEI 60909-0. En rapport avec ces facteurs c_{\max} ou c_{\min} , des conditions particulières sont introduites pour le calcul des courants de court-circuit maximal et minimal (voir CEI 60909-0, 2.4 et 2.5). Le fait d'introduire le facteur de tension c permet d'obtenir la valeur du courant de court-circuit, par exemple du courant de court-circuit maximal, la plus proche possible de la valeur réelle. Si on utilise les facteurs de correction d'impédance, (CEI 60909-0, 3.3.3, 3.6.1, 3.7.1 et 3.7.2) on doit également obtenir en même temps que le facteur de tension c des valeurs réalistes même pour les courants de court-circuit partiels, même si on doit accepter, dans une certaine mesure, certains compromis (voir 2.2.5).

Le paragraphe suivant traite de la fiabilité de la méthode utilisant la source de tension équivalente au point de court-circuit et donne la relation de base qui existe entre les chutes de tension admissibles ou habituelles Δu et les écarts maximaux possibles $\Delta i_k''$ et en outre, le rapport entre le facteur c_{\max} et la tension $U_{Q\max}$.

2.1.4 Exemple simple illustrant l'importance du facteur de tension c

L'exemple simple représenté à la figure 1 illustre l'importance fondamentale du facteur de tension c dans le cas d'un réseau radial non maillé, par exemple un réseau de distribution. Des exemples complexes ainsi que les résultats de calculs utilisés pour obtenir une cohérence entre les chutes de tension relatives Δu et le facteur de tension c sont donnés en [10] et [17].

La figure 1b) représente le système direct du réseau donné comme modèle par la figure 1a). On suppose que la tension U_Q au début de la ligne est constante ($I_{kQ}'' \Rightarrow \infty$). La charge est concentrée et simulée par l'impédance en dérivation Z_A au point variable A entre les impédances de phase αZ_L et $(1-\alpha)Z_L$ avec $0 \leq \alpha \leq 1$.

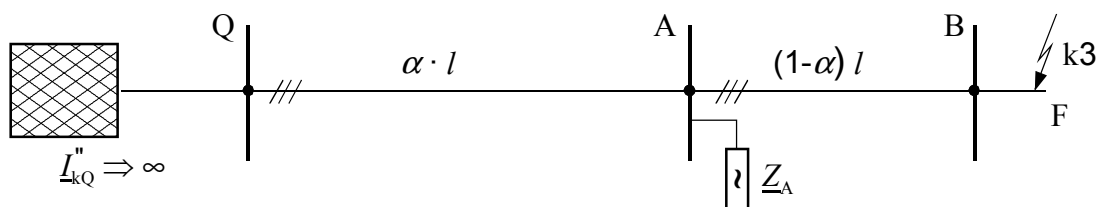


Figure 1a – Modèle alternatif triphasé (réseau radial non maillé)

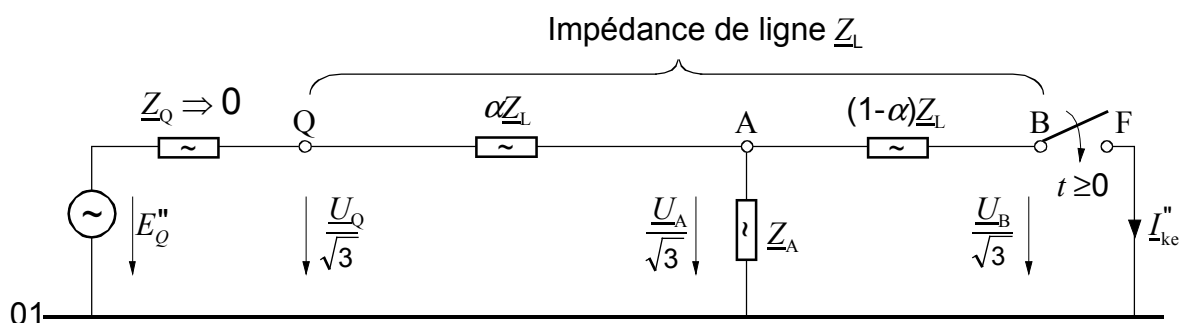


Figure 1b – Schéma du circuit équivalent, système direct, avant le court-circuit au point F

Figure 1 – Modèle pour établir la relation entre les chutes de tension Δu et l'écart du courant de court-circuit $\Delta i_k''$

On doit démontrer que l'écart du courant de court-circuit $\Delta i_k''$ dépend de l'écart de tension Δu . Les définitions suivantes sont utilisées:

$$\Delta u = \left| \frac{U_{-Q}}{U_{-B}} \right| - 1 \quad (1)$$

$$\Delta i_k'' = \left| \frac{I_{-ka}''}{I_{-ke}''} \right| - 1 \quad (2)$$

où

a est l'indice d'approximation du courant de court-circuit quand Z_{-A} est négligée;

e est l'indice de la valeur exacte du courant de court-circuit quand Z_{-A} est prise en compte.

On peut résoudre les équations suivantes donnant la tension avant le court-circuit à partir de la figure 1b, en considérant U_{-Q} comme une valeur constante:

$$U_{-Q} = U_{-A}(1 + \alpha Z_{-L} Y_{-A}) = U_{-B}(1 + \alpha Z_{-L} Y_{-A}) \quad (3)$$

avec $U_{-A} = U_{-B}$ (voir figure 1b) et $Y_{-A} = 1/Z_{-A}$.

Si on utilise l'équation (3) on peut exprimer l'écart de tension comme suit:

$$\Delta u = \left| \frac{U_{-Q}}{U_{-B}} \right| - 1 = \left| 1 + \alpha Z_{-L} Y_{-A} \right| - 1 \quad (4)$$

La valeur exacte du courant de court-circuit symétrique initial peut être calculé avec l'aide de la figure 1b:

$$I_{-ke}'' = I_{-Q} \cdot \frac{1}{1 + (1 - \alpha) Z_{-L} Y_{-A}} \quad (5a)$$

avec

$$I_{-Q} = \frac{U_{-Q}}{\sqrt{3} Z_{-L}} \cdot \frac{1}{\alpha + \frac{(1 - \alpha)}{1 + (1 - \alpha) Z_{-L} Y_{-A}}} \quad (5b)$$

Si on introduit la valeur I_{-Q} obtenue par l'équation (5b) dans l'équation (5a) on obtient

$$I_{-ke}'' = \frac{U_{-Q}}{\sqrt{3} Z_{-L}} \cdot \frac{1}{1 + \alpha(1 - \alpha) Z_{-L} Y_{-A}} \quad (6)$$

On peut calculer l'approximation I_{-ka}'' à partir de la figure 1b avec $Z_{-A} = \infty$ (ou $Y_{-A} = 0$) et la tension U_{-B} à l'emplacement supposé de court-circuit, si on utilise l'équation (3):

$$I_{-ka}'' = \frac{U_{-B}}{\sqrt{3} Z_{-L}} = \frac{U_{-Q}}{\sqrt{3} Z_{-L}} \cdot \frac{1}{1 + \alpha Z_{-L} Y_{-A}} \quad (7)$$