

	DIN EN 60909-0 (VDE 0102)	DIN
	Diese Norm ist zugleich eine VDE-Bestimmung im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Präsidium beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter der oben angeführten Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der „etz Elektrotechnik + Automation“ bekannt gegeben worden.	VDE
ICS 17.220.01 Ersatz für DIN EN 60909-0 (VDE 0102):2002-07 Siehe Anwendungsbeginn Kurzschlussströme in Drehstromnetzen – Teil 0: Berechnung der Ströme (IEC 60909-0:2016); Deutsche Fassung EN 60909-0:2016 Short-circuit currents in three-phase a.c. systems – Part 0: Calculation of currents (IEC 60909-0:2016); German version EN 60909-0:2016 Courants de court-circuit dans les réseaux triphasés à courant alternatif – Partie 0: Calcul des courants (IEC 60909-0:2016); Version allemande EN 60909-0:2016 Gesamtumfang 75 Seiten DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE		

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn für die von CENELEC am 2016-03-03 angenommene Europäische Norm als DIN-Norm ist 2016-12-01.

Für **DIN EN 60909-0 (VDE 0102):2002-07** besteht eine Übergangsfrist bis 2019-06-10.

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN EN 60909-0 (VDE 0102):2013-02.

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium UK 121.1 „Kurzschluss-Strom-Berechnung“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Die enthaltene IEC-Publikation wurde vom TC 73 „Short-circuit currents“ erarbeitet.

Das IEC-Komitee hat entschieden, dass der Inhalt dieser Publikation bis zu dem Datum (stability date) unverändert bleiben soll, das auf der IEC-Website unter „<http://webstore.iec.ch>“ zu dieser Publikation angegeben ist. Zu diesem Zeitpunkt wird entsprechend der Entscheidung des Komitees die Publikation

- bestätigt,
- zurückgezogen,
- durch eine Folgeausgabe ersetzt oder
- geändert.

Änderungen

Gegenüber **DIN EN 60909-0 (VDE 0102):2002-07** wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Beitrag von Windkraftwerken zum Kurzschlussstrom ergänzt;
- b) Beitrag von Kraftwerken mit Vollumrichtern zum Kurzschlussstrom ergänzt;
- c) neue Dokumentenstruktur.

Frühere Ausgaben

VDE 0102 Teil 1: 1971-11

DIN 57102-2 (VDE 0102 Teil 2): 1975-11

DIN VDE 0102 (VDE 0102): 1990-01

DIN EN 60909-0 (VDE 0102): 2002-07

Nationaler Anhang NA (informativ)

Zusammenhang mit Europäischen und Internationalen Dokumenten

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf ein Dokument ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils aktuellste Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe des Dokuments.

Eine Information über den Zusammenhang der zitierten Dokumente mit den entsprechenden Deutschen Dokumenten ist nachstehend wiedergegeben.

Tabelle NA.1

Europäisches Dokument	Internationales Dokument	Deutsches Dokument	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
EN 60027-1	IEC 60027-1	DIN EN 60027-1	–
EN 60038:2011	IEC 60038:2009, mod.	DIN EN 60038 (VDE 0175-1):2012-04	VDE 0175-1
–	IEC 60050-131	a	–
–	IEC 60050-151:2001	a	–
–	IEC 60050-195:1998 + A1:2001	a	–
EN 60865-1:2012	IEC 60865-1:2011	DIN EN 60865-1 (VDE 0103):2012-09	VDE 0103
–	–	DIN EN 60865-1 Bbl 1 (VDE 0103 Bbl 1):1996-06	VDE 0103 Bbl 1
EN 60909 (alle Teile)	IEC 60909 (alle Teile)	DIN EN 60909 (alle Teile)	VDE 0102
–	IEC/TR 60909-1:2002	DIN EN 60909-0 Bbl 3 (VDE 0102 Bbl 3):2003-07	VDE 0102 Bbl 3
–	IEC/TR 60909-2:2008	DIN EN 60909-0 Bbl 4 (VDE 0102 Bbl 4):2009-08	VDE 0102 Bbl 4
EN 60909-3:2010	IEC 60909-3:2009	DIN EN 60909-3 (VDE 0102-3):2010-08	VDE 0102-3
–	IEC/TR 60909-4:2000	DIN EN 60909-0 Bbl 1 (VDE 0102 Bbl 1):2002-11	VDE 0102 Bbl 1
–	IEC 60949	–	–
–	IEC 60986	–	–
EN 62428	IEC 62428	DIN EN 62428	–
^a „Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch – Deutsche Ausgabe“, Online-Zugang: http://www.dke.de/dke-iev .			

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN 60027-1, *Formelzeichen für die Elektrotechnik – Teil 1: Allgemeines*

DIN EN 60038 (VDE 0175-1):2012-04, *CENELEC-Normspannungen (IEC 60038:2009, modifiziert); Deutsche Fassung EN 60038:2011*

DIN EN 60865-1 (VDE 0103):2012-09, *Kurzschlussströme – Berechnung der Wirkung – Teil 1: Begriffe und Berechnungsverfahren (IEC 60865-1:2011); Deutsche Fassung EN 60865-1:2012*

DIN EN 60865-1 Beiblatt 1 (VDE 0103 Beiblatt 1):1996-06, *Kurzschluss-Ströme – Berechnung der Wirkung – Teil 1: Begriffe und Berechnungsverfahren – Beispiele für die Berechnung*

DIN EN 60909-0 (VDE 0102) (alle Teile), *Kurzschlussströme in Drehstromnetzen*

DIN EN 60909-0 (VDE 0102):2016-12

DIN EN 60909-0 Beiblatt 1 (VDE 0102 Beiblatt 1):2002-11, *Kurzschlussströme in Drehstromnetzen – Teil 0: Beispiele für die Berechnung von Kurzschlussströmen (IEC/TR 60909-4:2000)*

DIN EN 60909-0 Beiblatt 3 (VDE 0102 Beiblatt 3):2003-07, *Kurzschlussströme in Drehstromnetzen – Faktoren für die Berechnung von Kurzschlussströmen nach IEC 60909-0 (IEC/TR 60909-1:2002)*

DIN EN 60909-0 Beiblatt 4 (VDE 0102 Beiblatt 4):2009-08, *Kurzschlussströme in Drehstromnetzen – Daten elektrischer Betriebsmittel für die Berechnung von Kurzschlussströmen (IEC/TR 60909-2:2008)*

DIN EN 60909-3 (VDE 0102-3):2010-08, *Kurzschlussströme in Drehstromnetzen – Teil 3: Ströme bei Doppelerdkurzschluss und Teilkurzschlussströme über Erde (IEC 60909-3:2009); Deutsche Fassung EN 60909-3:2010*

DIN EN 62428, *Elektrische Energietechnik – Modale Komponenten in Drehstromsystemen – Größen und Transformationen*

**Kurzschlussströme in Drehstromnetzen –
Teil 0: Berechnung der Ströme**
(IEC 60909-0:2016)

Short-circuit currents in three-phase
a.c. systems –
Part 0: Calculation of currents
(IEC 60909-0:2016)

Courants de court-circuit dans les
réseaux triphasés à courant alternatif –
Partie 0: Calcul des courants
(IEC 60909-0:2016)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2016-03-03 angenommen. CENELEC-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist.

Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim CEN-CENELEC Management Centre oder bei jedem CENELEC-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CENELEC-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem CEN-CENELEC Management Centre mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CENELEC-Mitglieder sind die nationalen elektrotechnischen Komitees von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, der ehemaligen jugoslawischen Republik Mazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.

CENELEC

Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normung
European Committee for Electrotechnical Standardization
Comité Européen de Normalisation Electrotechnique

CEN-CENELEC Management Centre: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

© 2016 CENELEC – Alle Rechte der Verwertung, gleich in welcher Form und in welchem Verfahren, sind weltweit den Mitgliedern von CENELEC vorbehalten.

Ref. Nr. EN 60909-0:2016 D

Europäisches Vorwort

Der Text des Dokuments 73/172/CDV, zukünftige 2. Ausgabe der IEC 60909-0, erarbeitet vom IEC/TC 73 „Shortcircuit currents“, wurde zur parallelen IEC-CENELEC-Abstimmung vorgelegt und von CENELEC als EN 60909-0:2016 angenommen.

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem dieses Dokument auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muss (dop): 2016-12-10
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die diesem Dokument entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2019-06-10

Dieses Dokument ersetzt **EN 60909-0:2001**.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CENELEC [und/oder CEN] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 60909-0:2016 wurde von CENELEC ohne irgendeine Abänderung als Europäische Norm angenommen.

In der offiziellen Fassung sind unter „Literaturhinweise“ zu den aufgelisteten Normen die nachstehenden Anmerkungen einzutragen:

IEC 60865-1	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 60865-1 .
IEC 62428	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 62428.

Inhalt

Seite

Europäisches Vorwort	2
1 Anwendungsbereich.....	7
2 Normative Verweisungen	8
3 Begriffe	8
4 Formelzeichen, tief- und hochgestellte Zeichen	13
4.1 Allgemeines.....	13
4.2 Formelzeichen.....	13
4.3 Tiefgestellte Zeichen	15
4.4 Hochgestellte Zeichen.....	16
5 Eigenschaften von Kurzschlussströmen: Berechnungsmethode.....	16
5.1 Allgemeines.....	16
5.2 Voraussetzungen für die Berechnung.....	19
5.3 Methode der Berechnung.....	20
5.3.1 Ersatzspannungsquelle an der Kurzschlussstelle	20
5.3.2 Symmetrische Komponenten.....	22
6 Kurzschlussimpedanzen elektrischer Betriebsmittel.....	22
6.1 Allgemeines.....	22
6.2 Netzeinspeisungen.....	23
6.3 Transformatoren.....	24
6.3.1 Zweiwicklungstransformatoren	24
6.3.2 Dreiwicklungstransformatoren	25
6.3.3 Impedanzkorrekturfaktoren für Zwei- und Dreiwicklungsnetztransformatoren	26
6.4 Freileitungen und Kabel	27
6.5 Kurzschlussstrom-Begrenzungs-drosselspulen	28
6.6 Synchronmaschinen.....	28
6.6.1 Synchrongeneratoren.....	28
6.6.2 Synchronphasenschieber und -motoren	30
6.7 Kraftwerksblöcke	30
6.7.1 Kraftwerksblöcke mit Stufenschalter	30
6.7.2 Kraftwerksblöcke ohne Stufenschalter.....	31
6.8 Windkraftwerke.....	32
6.8.1 Allgemeines.....	32
6.8.2 Windkraftwerke mit Asynchrongenerator	32
6.8.3 Windkraftwerke mit doppelt speisendem Asynchrongenerator.....	33
6.9 Kraftwerke mit Vollumrichtern	34
6.10 Asynchronmotoren	34
6.11 Antriebe mit statischem Umrichter	35

6.12	Kondensatoren und nichtrotierende Lasten	35
7	Berechnung des Anfangs-Kurzschlusswechselstromes	35
7.1	Allgemeines	35
7.1.1	Überblick.....	35
7.1.2	Größte und kleinste Kurzschlussströme	40
7.1.3	Beitrag von Asynchronmotoren zum Kurzschlussstrom.....	41
7.2	Dreipoliger Anfangs-Kurzschlusswechselstrom	42
7.2.1	Allgemeines	42
7.2.2	Kurzschlussströme innerhalb eines Kraftwerksblocks mit Stufenschalter	43
7.2.3	Kurzschlussströme innerhalb eines Kraftwerksblocks ohne Stufenschalter	45
7.3	Zweipoliger Kurzschluss.....	45
7.4	Zweipoliger Kurzschluss mit Erdberührung.....	46
7.5	Einpoliger Erdkurzschluss	47
8	Berechnung des Stoßkurzschlussstromes	48
8.1	Dreipoliger Kurzschluss.....	48
8.1.1	Einfach und mehrseitig einfach gespeiste Kurzschlüsse	48
8.1.2	Mehrfach gespeister Kurzschluss	49
8.2	Zweipoliger Kurzschluss.....	50
8.3	Zweipoliger Kurzschluss mit Erdberührung.....	50
8.4	Einpoliger Erdkurzschluss	51
9	Berechnung des Ausschaltwechselstromes.....	51
9.1	Dreipoliger Kurzschluss.....	51
9.1.1	Ausschaltwechselstrom von Synchronmaschinen	51
9.1.2	Ausschaltwechselstrom von Asynchronmaschinen	53
9.1.3	Ausschaltwechselstrom von Kraftwerken mit doppelt speisendem Asynchrongenerator.....	54
9.1.4	Ausschaltwechselstrom von Kraftwerken mit Vollumrichter.....	54
9.1.5	Ausschaltwechselstrom einer Netzeinspeisung	54
9.1.6	Ausschaltwechselstrom bei mehrseitig einfach gespeistem Kurzschlüssen.....	54
9.1.7	Ausschaltwechselstrom bei mehrfach gespeisten Kurzschlüssen.....	54
9.2	Unsymmetrische Kurzschlüsse	55
10	Gleichstromanteil des Kurzschlussstroms.....	56
11	Berechnung des Dauerkurzschlussstromes.....	56
11.1	Allgemeines	56
11.2	Dreipoliger Kurzschluss.....	57
11.2.1	Dauerkurzschlussstrom eines Synchrongenerators oder eines Kraftwerksblocks	57
11.2.2	Dauerkurzschlussstrom von Asynchronmotor oder -generator.....	59
11.2.3	Dauerkurzschlussstrom eines Windkraftwerkes mit doppelt speisendem Asynchrongenerator	59
11.2.4	Dauerkurzschlussstrom eines Windkraftwerkes mit Vollumrichter	59

11.2.5	Dauerkurzschlussstrom einer Netzeinspeisung.....	59
11.2.6	Dauerkurzschlussstrom bei mehrseitig einfach gespeisten Kurzschlüssen	59
11.2.7	Dauerkurzschlussstrom bei mehrfach gespeisten Kurzschlüssen.....	60
11.3	Unsymmetrische Kurzschlüsse	60
12	Kurzschlüsse auf der Niederspannungsseite von Transformatoren, wenn ein Leiter auf der Oberspannungsseite unterbrochen ist	60
13	Klemmenkurzschluss von Asynchronmotoren	62
14	Joule-Integral und thermisch gleichwertiger Kurzschlussstrom	63
Anhang A (normativ)	Gleichungen zur Berechnung der Faktoren m und n	66
Anhang B (informativ)	Knotenadmittanz- und Knotenimpedanzmatrizen	67
Literaturhinweise		70
Anhang ZA (normativ)	Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen	71

Bilder

Bild 1 – Kurzschlussstrom für generatorfernen Kurzschluss mit konstantem Wechselstromanteil (schematischer Verlauf)	17
Bild 2 – Kurzschlussstrom für generatornahen Kurzschluss mit abklingendem Wechselstromanteil (schematischer Verlauf).....	18
Bild 3 – Beschreibung der Kurzschlüsse und ihrer Ströme	19
Bild 4 – Beschreibung zur Berechnung des Anfangs-Kurzschlusswechselstroms I_k'' in Übereinstimmung mit dem Verfahren der Ersatzspannungsquelle	21
Bild 5 – Netzschaftplan und Ersatzschaltplan für Netzeinspeisungen	23
Bild 6 – Dreiwicklungstransformator (Beispiel).....	26
Bild 7 – Diagramm zur Bestimmung der Kurzschlussart (Bild 3) mit dem höchsten Anfangs- Kurzschlusswechselstrom, bezogen auf den dreipoligen Anfangs-Kurzschlusswechselstrom, wenn die Impedanzwinkel der Impedanzen $Z_{(1)}$, $Z_{(2)}$, $Z_{(0)}$ gleich groß sind	37
Bild 8 – Beispiele für einfach gespeiste Kurzschlüsse	38
Bild 9 – Beispiel für einen mehrseitig einfach gespeisten Kurzschluss	39
Bild 10 – Beispiel für mehrfach gespeisten Kurzschluss.....	40
Bild 11 – Kurzschlussströme und Teilkurzschlussströme für dreipolige Kurzschlüsse zwischen Generator und Blocktransformator mit oder ohne Stufenschalter oder auf der Verbindung zum Eigenbedarfstransformator eines Kraftwerksblocks und auf der Sammelschiene A des Eigenbedarfs	44
Bild 12 – Faktor κ bei Reihenschaltung als Funktion des Verhältnisses R/X oder X/R	48
Bild 13 – Faktor μ zur Berechnung des Ausschaltwechselstroms I_b	52
Bild 14 – Faktor q zur Berechnung des Ausschaltwechselstroms von Asynchronmotoren	53
Bild 15 – Faktoren $\lambda_{\min}$ und $\lambda_{\max}$ für Turbogeneratoren.....	58
Bild 16 – Faktoren $\lambda_{\min}$ und $\lambda_{\max}$ für Schenkelpolgeneratoren.....	58
Bild 17 – Kurzschlussströme bei Kurzschluss auf der Niederspannungsseite eines Transformators Dyn5, wenn ein Leiter (Sicherung) auf der Oberspannungsseite unterbrochen ist	61

Bild 18 – Faktor m für den Wärmeeffekt des Gleichstromanteils des Kurzschlussstroms (die Gleichung für m ist zum Zwecke der Programmierung im Anhang A angegeben)	64
Bild 19 – Faktor n für den Wärmeeffekt des Wechselstromanteils des Kurzschlussstroms.....	65
Bild B.1 – Aufstellen der Knotenadmittanzmatrix	67
Bild B.2 – Beispiel	68
Tabellen	
Tabelle 1 – Spannungsfaktor c	21
Tabelle 2 – Bedeutung der Kurzschlussströme.....	36
Tabelle 3 – Faktoren α und β zur Berechnung der Kurzschlussströme nach Gleichung (96), Bemessungsübersetzungsverhältnis $t_r = U_{rTHV}/U_{rTLV}$	62
Tabelle 4 – Berechnung der Kurzschlussströme von Asynchronmotoren bei Klemmenkurzschluss	63
Tabelle B.1 – Impedanzen elektrischer Betriebsmittel bezogen auf die 110-kV-Seite.....	68

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil der IEC 60909 gilt für die Berechnung von Kurzschlussströmen

- in Niederspannungs-Drehstromnetzen und
- in Hochspannungs-Drehstromnetzen

bei einer Nennfrequenz von 50 Hz oder 60 Hz.

Netze mit höchsten Spannungen von 550 kV und darüber mit langen Übertragungsleitungen erfordern besondere Überlegungen.

Dieser Teil der IEC 60909 legt ein allgemeines, gut handhabbares und kurzes Berechnungsverfahren fest, das zu Ergebnissen führt, welche im Allgemeinen von ausreichender Genauigkeit sind. Zu diesem Zweck wird eine Ersatzspannungsquelle an der Kurzschlussstelle eingeführt. Dies schließt jedoch nicht die Anwendung spezieller Berechnungsverfahren, z. B. des Überlagerungsverfahrens, aus, die besonderen Gegebenheiten angepasst sind, wenn sie mindestens die gleiche Genauigkeit aufweisen. Das Überlagerungsverfahren liefert den Kurzschlussstrom abhängig von einem vorgegebenen Lastfluss. Diese Methode führt deshalb nicht notwendigerweise auf den größten Kurzschlussstrom.

Dieser Teil der IEC 60909 beschäftigt sich mit der Berechnung der Kurzschlussströme bei symmetrischen und unsymmetrischen Kurzschlüssen.

Ein einzelner Erdschluss liegt außerhalb des Anwendungsbereichs dieses Teils von IEC 60909.

Für Ströme bei zwei separaten gleichzeitigen Erdkurzschlüssen (Doppelerdkurzschluss) in einem Netz mit isoliertem Neutralpunkt oder einem Netz mit Erdschlusskompensation siehe [IEC 60909-3](#).

Kurzschlussströme und Kurzschlussimpedanzen dürfen auch aus Netzversuchen bestimmt werden, durch Messungen an Netzmodellen oder mit einem Digitalrechner. In bestehenden Niederspannungsnetzen kann man die Kurzschlussimpedanz durch Messungen an der angenommenen Kurzschlussstelle bestimmen.

Die Berechnung der Kurzschlussimpedanz beruht im Allgemeinen auf den Bemessungsdaten der elektrischen Betriebsmittel und der Topologie des Netzes und hat den Vorteil, dass sie sowohl für bestehende Netze als auch für Netze im Planungszustand möglich ist.

Im Allgemeinen sind zwei unterschiedliche Kurzschlussströme zu berechnen, die sich in ihrer Größe unterscheiden:

- der größte Kurzschlussstrom, der die Leistungsfähigkeit oder die Bemessung der elektrischen Betriebsmittel bestimmt, und
- der kleinste Kurzschlussstrom, der eine Grundlage bilden kann z. B. für die Auswahl von Sicherungen und für die Einstellung von Schutzeinrichtungen und für die Überprüfung des Hochlaufs von Motoren.

ANMERKUNG Angenommen wird, dass ein dreipoliger Kurzschluss gleichzeitig in allen drei Leitern des Drehstromnetzes auftritt. Überlegungen zum nicht gleichzeitigen Auftreten von Kurzschlüssen, die zu höheren Gleichstromgliedern im Kurzschlussstrom führen können, liegen außerhalb des Anwendungsbereiches dieses Teils von IEC 60909-0.

Dieser Teil von IEC 60909 schließt nicht die Kurzschlussströme ein, die unter Prüffeldbedingungen absichtlich in Kurzschluss-Prüffeldern erzeugt werden.

Dieser Teil von IEC 60909 beschäftigt sich nicht mit der Berechnung von Kurzschlussströmen in Anlagen auf Schiffen oder in Flugzeugen.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

IEC 60038:2009, *IEC Standard voltages*

IEC 60050-131, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 131: Circuit theory* (verfügbar unter www.electropedia.org)

IEC/TR 60909-1:2002, *Short-circuit currents 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 60909-0*

IEC/TR 60909-2:2008, *Short-circuit currents in three-phase a.c. systems – Part 2: Data of electrical equipment for short-circuit current calculations*

IEC/60909-3:2009, *Short-circuit currents in three-phase a.c. systems – Part 3: Currents during two separate simultaneous line-to-earth short circuits and partial short-circuit currents flowing through earth*

IEC/TR 60909-4:2000, *Short-circuit currents in three-phase a.c. systems – Part 4: Examples for the calculation of short-circuit currents*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach IEC 60050-131 und die folgenden Begriffe.

3.1

Kurzschluss

zufällige oder beabsichtigte leitfähige Verbindung zwischen zwei oder mehr leitfähigen Teilen (z. B. dreipoliger Kurzschluss), durch die die elektrischen Potentialdifferenzen zwischen diesen leitfähigen Teilen zu Null oder nahezu zu Null erzwungen werden

3.1.1

Kurzschluss zwischen Außenleitern

zweipoliger Kurzschluss

zufällige oder beabsichtigte leitfähige Verbindung zwischen zwei Leitern ohne oder mit Erdberührung

3.1.2

Kurzschluss zwischen Außenleiter und Erde

einpoliger Erdkurzschluss

zufällige oder beabsichtigte leitfähige Verbindung zwischen einem Leiter und Erde in einem Netz mit direkter Neutralpunktterdung oder einem Netz mit Impedanz-Neutralpunktterdung

3.2

Kurzschlussstrom

Überstrom, hervorgerufen durch einen Kurzschluss in einem elektrischen Netz

Anmerkung 1 zum Begriff: Es ist notwendig, zwischen dem Kurzschluss an der Kurzschlussstelle und den Teilkurzschlussströmen in den Netzzweigen (siehe Bild 3) an irgendeinem Punkt des Netzes zu unterscheiden.

3.3

zu erwartender Kurzschlussstrom

Strom, der auftreten würde, wenn der Kurzschluss durch eine ideale Verbindung mit vernachlässigbarer Impedanz ersetzt würde ohne Änderung der Einspeisung

Anmerkung 1 zum Begriff: Angenommen wird, dass der Strom bei dreipoligem Kurzschluss in allen drei Leitern gleichzeitig auftritt. Untersuchungen von nicht gleichzeitigen Kurzschlüssen, die zu höheren Gleichstromkomponenten des Kurzschlussstromes führen können, liegen außerhalb des Anwendungsbereiches dieses Teils von IEC 60909.

3.4

Kurzschlusswechselstrom

Effektivwert des Wechselstromanteils eines zu erwartenden Kurzschlussstroms (siehe 3.3), wobei der Gleichstromanteil, soweit vorhanden, nicht berücksichtigt wird

3.5

Anfangs-Kurzschlusswechselstrom

$$I_k''$$

Effektivwert des Wechselstromanteils eines zu erwartenden Kurzschlussstroms (siehe 3.3) im Augenblick des Kurzschlusseintritts, wenn die Impedanz ihre Größe zum Zeitpunkt Null beibehält

SIEHE: Bilder 1 und 2.

3.6

Anfangs-Kurzschlusswechselstromleistung

$$S_k''$$

fiktive Größe, berechnet als Produkt aus dem Anfangs-Kurzschlusswechselstrom I_k'' (siehe 3.5), der Netznennspannung U_n (siehe 3.13) und dem Faktor $\sqrt{3}$: $S_k'' = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_k''$

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Anfangs-Kurzschlusswechselstromleistung S_k'' wird nicht für die Berechnungen in diesem Teil von IEC 60909 verwendet. Wenn S_k'' trotzdem im Zusammenhang mit der Kurzschlussstromberechnung Anwendung findet, z. B. zur Berechnung der inneren Impedanz eines Ersatznetzes am Anschlusspunkt Q, dann sollte die gegebene Definition in der folgenden Form benutzt werden: $S_{kQ}'' = \sqrt{3} \cdot U_{nQ} \cdot I_{kQ}''$ oder $Z_Q = c \cdot U_{nQ}^2 / S_{kQ}''$.

3.7

abklingender (aperiodischer) Anteil des Kurzschlussstroms oder Gleichstromanteil

$$i_{DC}$$

Mittelwert zwischen der oberen und der unteren Hüllkurve des Kurzschlussstroms, der von einem Anfangswert auf Null abklingt entsprechend den Bildern 1 und 2

3.8

Stoßkurzschlussstrom

$$i_p$$

maximal möglicher Augenblickswert des zu erwartenden Kurzschlussstroms

SIEHE: Bilder 1 und 2.

Anmerkung 1 zum Begriff: Folgefehler werden nicht betrachtet.

3.9

Ausschaltwechselstrom

$$I_b$$

Effektivwert als Mittelwert einer Periode der Wechselstromkomponente des zu erwartenden Kurzschlussstroms im Augenblick der Kontakttrennung des erstlöschenden Pols einer Schalteinrichtung

3.10

Dauerkurzschlussstrom

$$I_k$$

Effektivwert des Kurzschlussstroms, der nach Abklingen aller Ausgleichsvorgänge bestehen bleibt

SIEHE: Bilder 1 und 2.

3.11

Anzugsstrom

I_{LR}

symmetrischer Effektivwert des Stroms eines Asynchronmotors bei festgebremstem Läufer, gespeist mit der Bemessungsspannung U_{rM} bei Bemessungsfrequenz

3.12

elektrischer Ersatzschaltplan

Modell zur Beschreibung des Verhaltens eines Stromkreises durch einen Schaltplan mit idealen Elementen

3.13

Netzennspannung

U_n

Spannung zwischen den Leitern, für die ein Netz bestimmt ist und auf die sich bestimmte Betriebseigenschaften beziehen

Anmerkung 1 zum Begriff: Werte sind in [IEC 60038](#) angegeben.

3.14

Ersatzspannungsquelle

$cU_n / \sqrt{3}$

Spannung einer idealen Quelle, die an der Kurzschlussstelle im Mitsystem eingeführt wird zur Berechnung des Kurzschlussstroms nach [5.3.1](#)

Anmerkung 1 zum Begriff: Dies ist die einzige wirksame Spannung des Netzes.

3.15

Spannungsfaktor

c

Verhältnis zwischen der Ersatzspannungsquelle und der Netzennspannung U_n dividiert durch $\sqrt{3}$

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Werte sind in [Tabelle 1](#) angegeben.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Einführung des Spannungsfaktors c ist aus verschiedenen Gründen notwendig. Diese sind:

- Spannungsänderungen abhängig von der Zeit und dem Ort;
- Änderung der Stellung von Transformatorstufenschaltern;
- Vernachlässigung der Lasten und Kapazitäten bei der Berechnung nach [5.2](#);
- das subtransiente Verhalten von Generatoren und Motoren.

3.16

generatorferner Kurzschluss

Kurzschluss, bei dem die Größe des Wechselstromanteils des zu erwartenden Kurzschlussstroms im Wesentlichen konstant bleibt

SIEHE: [Bild 1](#).

3.17

generatornahe Kurzschluss

Kurzschluss, bei dem die Größe des Wechselstromanteils des zu erwartenden Kurzschlussstroms abnimmt

SIEHE: [Bild 2](#).

Anmerkung 1 zum Begriff: Generatornahe Kurzschluss kann angenommen werden, wenn mindestens eine Synchronmaschine einen zu erwartenden Anfangs-Kurzschlusswechselstrom liefert, der größer als das Doppelte des Bemessungsstroms der Maschine ist, oder ein Kurzschluss, zu dem Asynchronmotoren mehr als 5 % des Anfangs-Kurzschlusswechselstroms ohne Motoren beitragen.

3.18 Kurzschlussimpedanzen an der Kurzschlussstelle F

3.18.1

Kurzschlussmitimpedanz

$\underline{Z}_{(1)}$

<Drehstromnetz> Impedanz des Mitsystems von der Kurzschlussstelle aus betrachtet

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe 5.3.2.

3.18.2

Kurzschlussimpedanz

$\underline{Z}_k$

<Drehstromnetz> abgekürzte Bezeichnung für die Kurzschlussmitimpedanz $\underline{Z}_{(1)}$ nach 3.18.1 zur Berechnung dreipoliger Kurzschlussströme

3.18.3

Kurzschlussgegenimpedanz

$\underline{Z}_{(2)}$

<Drehstromnetz> Impedanz des Gegensystems von der Kurzschlussstelle aus betrachtet

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe 5.3.2.

3.18.4

Kurzschlussnullimpedanz

$\underline{Z}_{(0)}$

<Drehstromnetz> Impedanz des Nullsystems von der Kurzschlussstelle aus betrachtet (siehe 5.3.2)

Anmerkung 1 zum Begriff: Sie enthält den dreifachen Wert der Impedanz $\underline{Z}_N$ zwischen Neutralpunkt und Erde.

3.19 Kurzschlussimpedanzen elektrischer Betriebsmittel

3.19.1

Kurzschlussmitimpedanz

$\underline{Z}_{(1)}$

<elektrisches Betriebsmittel> Verhältnis der Leiter-Neutralpunkt-Spannung zum Kurzschlussstrom des zugehörigen Leiters eines elektrischen Betriebsmittels, wenn dieses durch ein mitlaufendes symmetrisches Spannungssystem gespeist wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Abschnitt 6 und IEC/TR 60909-4.

Anmerkung 2 zum Begriff: Der Index von $\underline{Z}_{(1)}$ kann weggelassen werden, wenn keine Verwechslungsgefahr mit den Kurzschlussgegen- und den Kurzschlussnullimpedanzen besteht.

3.19.2

Kurzschlussgegenimpedanz

$\underline{Z}_{(2)}$

<elektrisches Betriebsmittel> Verhältnis der Leiter-Neutralpunkt-Spannung zum Kurzschlussstrom des zugehörigen Leiters eines elektrischen Betriebsmittels, wenn dieses durch ein gegenläufiges symmetrisches Spannungssystem gespeist wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Abschnitt 6 und IEC/TR 60909-4.

3.19.3

Kurzschlussnullimpedanz

$Z_{(0)}$

<elektrisches Betriebsmittel> Verhältnis der Leiter-Erde-Spannung zum Kurzschlussstrom eines Leiters des elektrischen Betriebsmittels, wenn dieses durch eine Wechselspannung gespeist wird bei Parallelschaltung der drei Leiter für den eintretenden Strom und gemeinsamer Rückleitung über einen vierten Leiter und/oder Erde

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe [Abschnitt 6](#) und [IEC/TR 60909-4](#).

3.20

subtransiente Reaktanz

X_d''

wirksame Reaktanz einer Synchronmaschine im Kurzschlussaugenblick

Anmerkung 1 zum Begriff: Für die Berechnung der Kurzschlussströme ist der gesättigte Wert von X_d'' zu wählen.

3.21

Mindestschaltverzug

$t_{\min}$

kürzeste Zeit zwischen dem Beginn des Kurzschlussstroms und der Kontakttrennung des ersten öffnenden Pols einer Schalteinrichtung

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Zeit $t_{\min}$ ist die Summe der kleinstmöglichen Kommandozeit eines Schutzrelais und der kürzesten Ausschaltzeit eines Leistungsschalters. Hierbei wird eine einstellbare Zeitverzögerung der Ausschalteinrichtung nicht berücksichtigt.

3.22

thermisch gleichwertiger Kurzschlussstrom

I_{th}

Effektivwert eines Stroms mit der gleichen thermischen Wirkung und der gleichen Dauer wie der tatsächliche Kurzschlussstrom, der einen Gleichstromanteil enthalten und mit der Zeit abklingen kann

3.23

maximaler Kurzschlussstrom

i_{kWDmax}

<doppelt speisender Asynchrongenerator> maximaler Augenblickswert eines Kurzschlussstromes eines Windkraftwerkes mit doppelt speisendem Asynchrongenerator bei dreipoligem Kurzschluss auf der Oberspannungsseite des Blocktransformators

3.24

maximaler Kurzschlussstrom

I_{kPFmax}

<Vollumrichter> maximaler Dauerstrom eines Kraftwerkes mit Vollumrichter bei dreipoligem Kurzschluss auf der Oberspannungsseite des Blocktransformators

3.25

maximaler Quellenstrom

I_{skPF}

<Vollumrichter, dreipolig> Effektivwert des maximalen Quellenstromes eines Kraftwerkes mit Vollumrichter und Stromregelung bei dreipoligem Kurzschluss auf der Oberspannungsseite des Blocktransformators

3.26

maximaler Quellenstrom

$$I_{(1)sk2PF}$$

<Vollumrichter, zweipolig> Effektivwert des maximalen Quellenstromes (Mitsystem) eines Kraftwerkes mit Vollumrichter und Stromregelung bei einem zweipoligen Kurzschluss oder einem zweipoligen Kurzschluss mit Erdberührung auf der Oberspannungsseite des Blocktransformators

3.27

maximaler Quellenstrom

$$I_{(1)sk1PF}$$

<Vollumrichter, einpolig> Effektivwert des maximalen Quellenstromes (Mitsystem) eines Kraftwerkes mit Vollumrichter und Stromregelung bei einpoligem Erdkurzschluss auf der Oberspannungsseite des Blocktransformators

3.28

Impedanz einer Knotenimpedanzmatrix

$$\underline{Z}_{(1)ii}, \underline{Z}_{(2)ii}, \underline{Z}_{(0)ii}$$

<Eigenimpedanz> Diagonalelemente der Knotenimpedanzmatrix im Mit-, Gegen- und Nullsystem für die Kurzschlussstelle i

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe [Anhang B](#).

3.29

Impedanz einer Knotenimpedanzmatrix

$$\underline{Z}_{(1)ij}$$

<Koppelimpedanz> Elemente der Knotenimpedanzmatrix im Mitsystem, wobei i der Kurzschlussknoten ist und j der Knoten, an dem die Oberspannungsseite des Kraftwerkes mit Vollumrichter angeschlossen ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe [Anhang B](#).

4 Formelzeichen, tief- und hochgestellte Zeichen

4.1 Allgemeines

Die Gleichungen in dieser Norm werden als Größengleichungen angegeben. Die Formelzeichen stehen für physikalische Größen, die sowohl den Zahlenwert als auch die Einheit enthalten. Die Größen sind unabhängig von den Einheiten, wenn ein kohärentes Einheitensystem gewählt wird, z. B. das internationale Einheitensystem (SI). Formelzeichen für komplexe Größen sind unterstrichen, z. B. $\underline{Z} = R + jX$.

4.2 Formelzeichen

A	Anfangswert der Gleichstromanteils i_{DC}
$\underline{a}$	komplexer Einheitszeiger
a	Verhältnis zwischen unsymmetrischem Kurzschlussstrom und dreipoligem Kurzschlussstrom
c	Spannungsfaktor
$cU_n / \sqrt{3}$	Ersatzspannungsquelle (Effektivwert)
f	Frequenz (50 Hz oder 60 Hz)
I_b	Ausschaltwechselstrom (Effektivwert)
I_k	Dauerkurzschlussstrom (Effektivwert)
I_{kP}	Dauerkurzschlussstrom an den Klemmen eines Generators mit Kompounderregung

I_k''	Anfangs-Kurzschlusswechselstrom (Effektivwert)
I_{LR}	symmetrischer Anzugsstrom an den Klemmen eines Asynchrongenerators oder -motors
I_r	Bemessungsstrom eines elektrischen Betriebsmittels
I_{th}	thermisch wirksamer Kurzschlussstrom
i_{DC}	Gleichstromanteil des Kurzschlussstroms
i_p	Stoßkurzschlussstrom
K	Impedanzkorrekturfaktor
m	Faktor für den Wärmeeffekt des Gleichstromanteils
n	Faktor für den Wärmeeffekt des Wechselstromanteils
p	Polpaarzahl eines Asynchronmotors
p_G	Bereich der Generatorspannungsregelung
p_T	Bereich der Transformatorspannungsverstellung
R_{krT}	gesamte Transformatorwicklungsverluste bei Bemessungsstrom
P_{rM}	Bemessungswirkleistung eines Asynchronmotors ($P_{rM} = S_{rM} \cos(\varphi_{rM}) \eta_{rM}$)
q	Faktor zur Berechnung des Ausschaltwechselstromes von Asynchronmotoren
q_n	Nennquerschnitt
R bzw. r	Resistanz, absoluter bzw. bezogener Wert
R_G	Resistanz einer Synchronmaschine
R_{Gf}	fiktive Resistenz einer Synchronmaschine bei der Berechnung von i_p
S_k''	Anfangs-Kurzschlusswechselstromleistung (siehe 3.6)
S_r	Bemessungsscheinleistung eines elektrischen Betriebsmittels
t_{min}	Mindestschaltverzug
t_r	Bemessungs-Übersetzungsverhältnis (Stufenschalter auf der Hauptanzapfung); $t_r \geq 1$
T_k	Dauer des Kurzschlussstromes
U_m	höchste Spannung für Betriebsmittel, Leiter zu Leiter (Effektivwert)
U_n	Netzennspannung, Leiter zu Leiter (Effektivwert)
U_r	Bemessungsspannung, Leiter zu Leiter (Effektivwert)
u_{kr}	Bemessungswert der Kurzschlussspannung eines Transformators in Prozent
u_{kR}	Kurzschlussspannung einer Kurzschlussstrom-Begrenzungs-drosselspule in Prozent
u_{Rr}	Bemessungswert des Wirkanteils der Kurzschlussspannung eines Transformators in Prozent
u_{Xr}	Bemessungswert des induktiven Blindanteils der Kurzschlussspannung eines Transformators in Prozent
$U_{(1)}, U_{(2)}, U_{(0)}$	Spannung im Mit-, Gegen- und Nullsystem
X bzw. x	Reaktanz, absoluter bzw. bezogener Wert
X_d bzw. X_q	synchrone Reaktanz in der Längs- bzw. Querachse
X_{dP}	fiktive Reaktanz eines Generators mit Kompounderregung bei Dauerkurzschluss an den Klemmen

X_d'' bzw. X_q''	gesättigte subtransiente Reaktanz einer Synchronmaschine in der Längs- bzw. Querachse
x_d	ungesättigte synchrone Reaktanz, bezogener Wert
$x_{d \text{ sat}}$	gesättigte synchrone Reaktanz, bezogener Wert, Kehrwert des gesättigten Leerlauf-Kurzschlussverhältnisses
Z bzw. z	Impedanz, absoluter bzw. bezogener Wert
Z_k	Kurzschlussimpedanz eines Drehstromnetzes
$Z_{(1)}$	Kurzschlussmitimpedanz
$Z_{(2)}$	Kurzschlussgegenimpedanz
$Z_{(0)}$	Kurzschlussnullimpedanz
η	Wirkungsgrad eines Asynchronmotors
κ	Faktor zur Berechnung des Stoßkurzschlussstromes
λ	Faktor zur Berechnung des Dauerkurzschlussstromes
μ	Faktor zur Berechnung des Ausschaltwechselstromes
μ_{WA}	Faktor zur Berechnung des Ausschaltwechselstromes eines Windkraftwerkes mit Asynchronergenerator
μ_{WD}	Faktor zur Berechnung des Ausschaltwechselstromes eines Windkraftwerkes mit doppelt speisendem Asynchronergenerator
μ_0	absolute Permeabilität des Vakuums, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-4} \text{ H/km}$
ρ	spezifischer Widerstand
φ	Phasenwinkel
ϑ_e	Leitertemperatur am Ende des Kurzschlusses
01	Bezugsschiene des Mitsystems
02	Bezugsschiene des Gegensystems
00	Bezugsschiene des Nullsystems

4.3 Tiefgestellte Zeichen

(1)	Komponente des Mitsystems
(2)	Komponente des Gegensystems
(0)	Komponente des Nullsystems
AC	Wechselstrom
DC	Gleichstrom
f	fiktiv
k oder k3	dreipoliger Kurzschluss (siehe Bild 3a)
k1	Erdkurzschluss, Kurzschluss gegen Erde oder Neutraleiter (siehe Bild 3d)
k2	zweipoliger Kurzschluss (siehe Bild 3b)
k2EL2	zweipoliger Kurzschluss mit Erdberührung (siehe Bild 3c)
k2EL3	zweipoliger Kurzschluss mit Erdberührung (siehe Bild 3c)
kE2E	zweipoliger Kurzschluss mit Erdberührung (siehe Bild 3c)
max	Maximum
min	Minimum
n	Nennwert
r	Bemessungswert

s	Quellenstrom
t	transformierte Größe
AT	Eigenbedarfstransformator
B	Sammelschiene
E	Erde
F	Kurzschlussstelle
G	Generator
HV	Hochspannung, Oberspannungsseite eines Transformators
K	korrigierte Impedanzen mit dem Impedanzkorrekturfaktoren K_T , K_G , K_S oder K_{TO}
LV	Niederspannung, Unterspannungsseite eines Transformators
L	Leitung
LR	festgebremster Rotor
L1, L2, L3	Leiter eines Drehstromnetzes
M	Asynchronmotor oder Gruppe von Asynchronmotoren
MO	ohne Motor
MV	Mittelspannung, Mittelspannungsseite eines Transformators
N	Neutralpunkt eines Drehstromnetzes, Sternpunkt eines Generators oder Transformators
P	Generator mit Kompounderregung
PF	Kraftwerk mit Vollumrichter
PFO	ohne Stromquellen von Kraftwerken mit Vollumrichtern
PV	Photovoltaik-Kraftwerk
Q	Anschlusspunkt einer Netzeinspeisung
R	Kurzschlussstrom-Begrenzungs-drosselspule
S	Kraftwerksblock (Generator und Blocktransformator mit Stufenschalter)
SO	Kraftwerksblock (Generator und Blocktransformator mit konstantem Übersetzungsverhältnis oder Anzapfungen)
T	Transformator
WA	Windkraftwerk mit Asynchrongenerator
WD	Windkraftwerk mit doppelt speisendem Asynchrongenerator
WF	Windkraftwerk mit Vollumrichter

4.4 Hochgestellte Zeichen

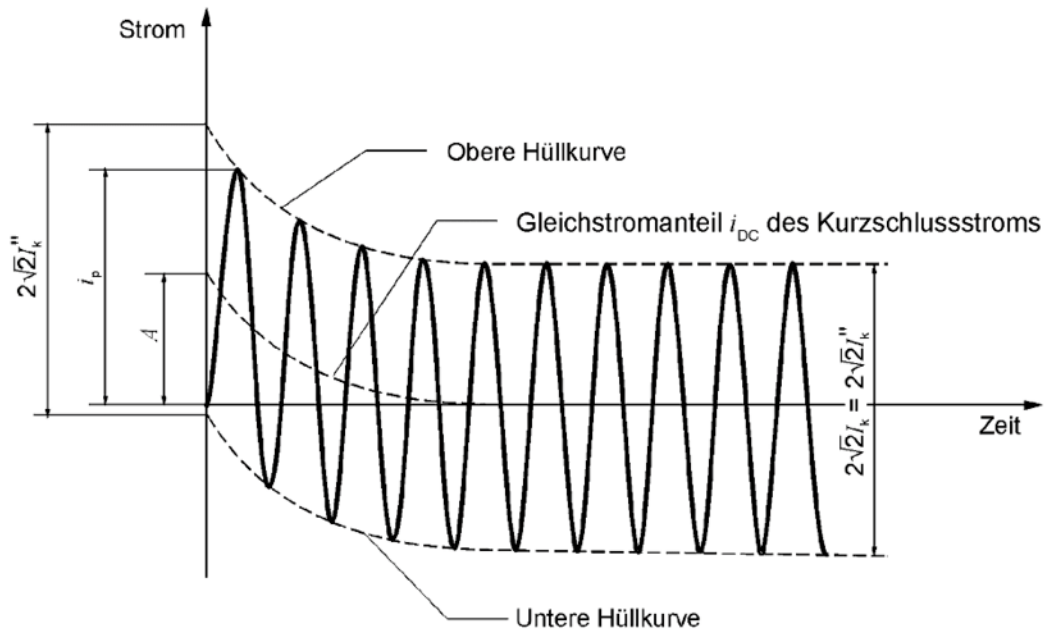
"	subtransienter Wert, Anfangswert
'	Resistanz- oder Reaktanzbelag
b	vor dem Kurzschluss

5 Eigenschaften von Kurzschlussströmen: Berechnungsmethode

5.1 Allgemeines

Eine vollständige Berechnung der Kurzschlussströme sollte den zeitlichen Verlauf der Ströme an der Kurzschlussstelle vom Beginn des Kurzschlusses bis zu seinem Ende liefern (siehe [Bilder 1](#) und [2](#)), zugehörig zum Augenblickswert der Spannung vor dem Kurzschluss.

ANMERKUNG In realen Netzen kann der Kurzschlussstrom von der in den [Bildern 1](#) und [2](#) gegebenen Form abweichen.



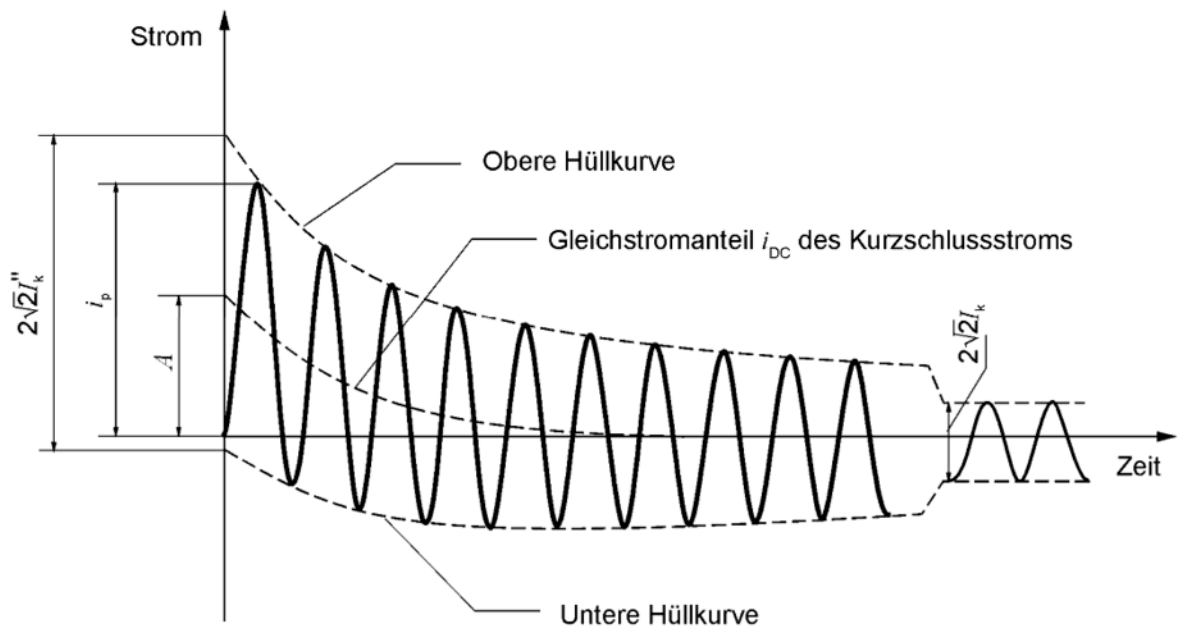
Legende

- I_k'' Anfangs-Kurzschlusswechselstrom
- i_p Stoßkurzschlussstrom
- I_k Dauerkurzschlussstrom
- i_{DC} Gleichstromanteil des Kurzschlussstroms
- A Anfangswert des Gleichstromanteils i_{DC}

Bild 1 – Kurzschlussstrom für generatorfernen Kurzschluss mit konstantem Wechselstromanteil (schematischer Verlauf)

In den meisten praktischen Fällen ist eine solche Berechnung jedoch nicht notwendig. Abhängig vom Anwendungsfall interessiert der Effektivwert des Wechselstromanteils und der höchste Spitzenwert i_p des Kurzschlussstroms nach dem Kurzschlusseintritt. Der Stoßkurzschlussstrom i_p hängt von der Zeitkonstante des abklingenden Gleichstromanteils und der Frequenz f ab, d. h. vom Verhältnis R/X oder X/R der Kurzschlussimpedanz Z_k , und wird erreicht, wenn der Kurzschluss im Nulldurchgang der Spannung auftritt. i_p hängt auch vom Abklingen des Wechselstromanteils des Kurzschlussstroms ab.

In vermaschten Netzen treten mehrere Gleichstromzeitkonstanten auf. Daher ist es nicht möglich, eine einfache Methode zur Berechnung von i_p und i_{DC} anzugeben. Spezielle Verfahren zur Berechnung von i_p mit ausreichender Genauigkeit werden im [Abschnitt 8](#) angegeben.



Legende

- I_k'' Anfangs-Kurzschlusswechselstrom
- i_p Stoßkurzschlussstrom
- I_k Dauerkurzschlussstrom
- i_{DC} Gleichstromanteil des Kurzschlussstroms
- A Anfangswert des Gleichstromanteils i_{DC}

Bild 2 – Kurzschlussstrom für generatornahen Kurzschluss mit abklingendem Wechselstromanteil (schematischer Verlauf)

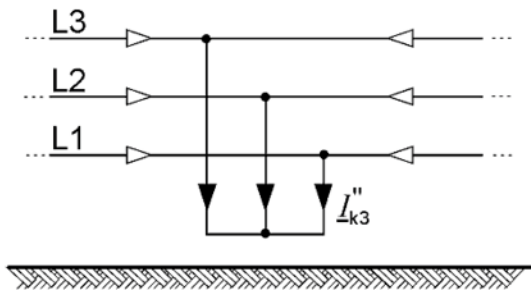


Bild 3a – Dreipoliger Kurzschluss

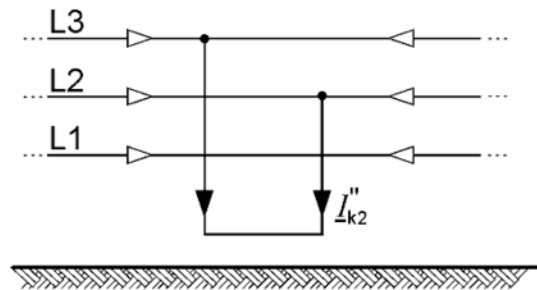


Bild 3b – Kurzschluss zwischen Außenleitern

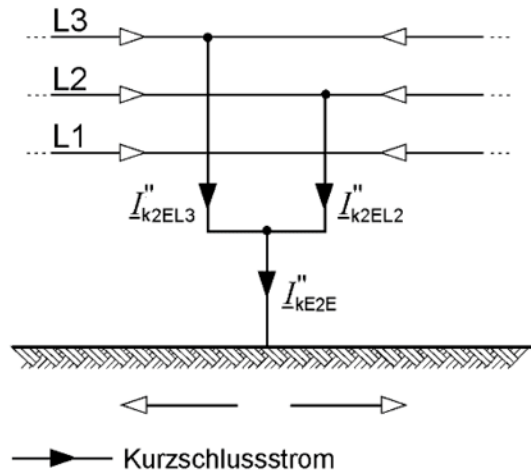


Bild 3c – Zweipoliger Kurzschluss mit Erdberührung

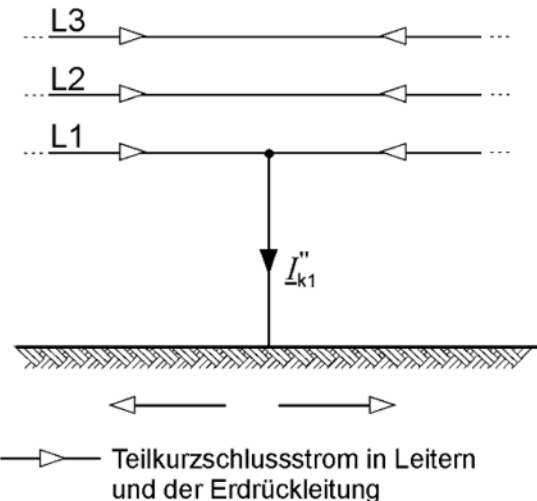


Bild 3d – Kurzschluss zwischen Außenleiter und Erde

Bild 3 – Beschreibung der Kurzschlüsse und ihrer Ströme

5.2 Voraussetzungen für die Berechnung

Die Berechnung der größten und der kleinsten Kurzschlussströme beruht auf den folgenden Vereinfachungen:

- Für die Dauer des Kurzschlusses tritt keine Änderung in der Art des Kurzschlusses ein, d. h. ein dreipoliger Kurzschluss bleibt dreipolig und ein einpoliger Erdkurzschluss bleibt einpolig während der Kurzschlussdauer.
- Während der Kurzschlussdauer tritt keine Änderung im betroffenen Netz ein.
- Die Impedanz der Transformatoren bezieht sich auf die Stellung des Stufenschalters auf der Hauptanzapfung.
- Lichtbogenwiderstände werden nicht berücksichtigt.
- Queradmittanzen und nichtmotorische Lasten sollen im Mit-, Gegen- und Nullsystem vernachlässigt werden.
- Leitungskapazitäten sollen im Mit- und Gegensystem vernachlässigt werden. Leitungskapazitäten im Nullsystem sollen in den Netzen mit niederohmiger Sternpunktterdung berücksichtigt werden, die einen Erdfehlerfaktor (siehe IEC 60027-1) größer als 1,4 haben.
- Magnetisierungsadmittanzen von Transformatoren sollen im Mit- und Gegensystem vernachlässigt werden.

Obwohl diese Annahmen in den betrachteten Energieversorgungsnetzen nicht streng gültig sind, erfüllen die Berechnungen doch das Ziel, zu Ergebnissen zu führen, die im Allgemeinen von ausreichender Genauigkeit sind.