

	Kurzschlussströme in Drehstromnetzen Teil 0: Berechnung der Ströme (IEC 60909-0:2001) Deutsche Fassung EN 60909-0:2001	DIN EN 60909-0
VDE	Diese Norm ist zugleich eine VDE-Bestimmung im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Vorstand beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter nebenstehenden Nummern in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der etz Elektrotechnische Zeitschrift bekannt gegeben worden.	Klassifikation VDE 0102
ICS 17.220.01 Short-circuit currents in three-phase a.c. systems – Part 0: Calculation of currents (IEC 60909-0:2001); German version EN 60909-0:2001 Courants de court-circuit dans les réseaux triphasés à courant alternatif – Partie 0: Calcul des courants (CEI 60909-0:2001); Version allemande EN 60909-0:2001 Die Europäische Norm EN 60909-0:2001 hat den Status einer Deutschen Norm. Beginn der Gültigkeit Die EN 60909-0 wurde am 2001-07-01 angenommen. Daneben darf DIN VDE 0102 (VDE 0102):1990-01 noch bis 2003-01-01 angewendet werden. Nationales Vorwort Für die vorliegende Norm ist das nationale Arbeitsgremium UK 121.1 „Kurzschluss-Strom-Berechnung“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE zuständig. Norm-Inhalt war veröffentlicht als E DIN IEC 73/89/CDV (VDE 0102 Teil 100):1997-08. Die enthaltene IEC-Publikation wurde vom TC 73 „Short-circuit currents“ erarbeitet. Das IEC-Komitee hat entschieden, dass der Inhalt dieser Publikation bis zum Jahr 2007 unverändert bleiben soll. Zu diesem Zeitpunkt wird entsprechend der Entscheidung des Komitees die Publikation – bestätigt, – zurückgezogen, – durch eine Folgeausgabe ersetzt oder – geändert. Ersatz für DIN VDE 0102 (VDE 0102):1990-01 und Ersatz für DIN 57102-2 (VDE 0102 Teil 2):1975-11 Siehe Beginn der Gültigkeit Fortsetzung Seite 2 bis 4 und 64 Seiten EN DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE		

Änderungen

Gegenüber **DIN VDE 0102 (VDE 0102):1990-01** wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Die Neubearbeitung von IEC 60909:1988 wurde notwendig, um den formalen Aufbau der Norm zu verbessern. Die Unterteilung in Hauptabschnitt 1 (generatorferner Kurzschluss) und Hauptabschnitt 2 (generatornaher Kurzschluss) wurde fallen gelassen, um so die Angaben zur Bestimmung der Kurzschlussimpedanzen der elektrischen Betriebsmittel zusammenfassen zu können und die Anwendung zu verbessern.
- b) Der Inhalt des früheren Hauptabschnittes 3 (Doppelerdkurzschluss und Teilkurzschlussströme über Erde) wurde in geänderter und erweiterter Form als IEC 60909-3:1995-09 (DIN IEC 60909-3 [VDE 0102 Teil 3]:1997-06) veröffentlicht und befindet sich inzwischen in Überarbeitung als IEC 60909-3 Ed. 2.0.
- c) Die vorliegende Norm berücksichtigt die Erfahrungen bei der Anwendung von IEC 60909:1988 und die daraus resultierenden Vorschläge insbesondere zur Einführung von Impedanzkorrekturfaktoren für Kraftwerksblöcke mit und ohne Stufenschalter des Blocktransformators und zur Einführung eines Impedanzkorrekturfaktors für Netztransformatoren.
- d) Die mit IEC 60038 angestrebte Vereinheitlichung der Nennspannungen in Niederspannungsnetzen und auch die Berücksichtigung der Norm für Niederspannungstransformatoren haben zur Neufestlegung von $c_{\max}$ und $c_{\min}$ für die Berechnung der Kurzschlussströme in Niederspannungsnetzen $U_n = 100 \text{ V}$ bis $U_n = 1\,000 \text{ V}$ geführt.
- e) Die Anwendung der Norm ist nun nicht mehr wie bisher auf Netzennspannungen $\leq 230 \text{ kV}$ beschränkt.
- f) Die Anfangs-Kurzschlusswechselstromleistung $S_k'' = \sqrt{3} U_n I_k''$ wird nur noch bei den Definitionen behandelt, jedoch nicht mehr für die Berechnungen in dieser Norm verwendet.

Frühere Ausgaben

VDE 0102 Teil 1:1971-11

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

DIN VDE 0102 (VDE 0102):1990-01

Nationaler Anhang NA (informativ)

Zusammenhang mit Europäischen und Internationalen Normen

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

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

Der Zusammenhang der zitierten Normen mit den entsprechenden Deutschen Normen ist nachstehend wiedergegeben. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieser Norm waren die angegebenen Ausgaben gültig.

IEC hat 1997 die Benummerung der IEC-Publikationen geändert. Zu den bisher verwendeten Normnummern wird jeweils 60000 addiert. So ist zum Beispiel aus IEC 68 nun IEC 60068 geworden.

Tabelle NA.1

Europäische Norm	Internationale Norm	Deutsche Norm	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
HD 472 S1:1989	IEC 60038:1983 modifiziert A1:1994 A2:1997	DIN IEC 60038:1987-05	–
–	IEC 60050(131):1978 A1:1984	DIN IEC 60050-131:1983-01	–
–	IEC 60050(151):2001	–	–
–	IEC 60050(195):1998 A1:2001	–	–
EN 60071-1:1995	IEC 60071-1:1993	DIN EN 60071-1 (VDE 0111 Teil 1):1996-07	VDE 0111 Teil 1
HD 581 S1:1991	IEC 60781:1989	DIN VDE 0102 Beiblatt 2 (VDE 0102 Beiblatt 2):1992-09	VDE 0102 Beiblatt 2
EN 60865-1:1993	IEC 60865-1:1993	DIN EN 60865-1 (VDE 0103):1994-11 DIN EN 60865-1 Berichtigung 1 (VDE 0103 Berichtigung 1):1996-08	VDE 0103 VDE 0103 Berichtigung 1
–	IEC/TR2 60865-2: 1994	DIN EN 60865-1 Beiblatt 1 (VDE 0103 Beiblatt 1):1996-06	VDE 0103 Beiblatt 1
–	IEC/TR2 60909-1: 1991	DIN VDE 0102 Beiblatt 3 (VDE 0102 Beiblatt 3):1997-05	VDE 0102 Beiblatt 3
–	IEC/TR3 60909-2: 1992	–	–
–	IEC 60909-3:1995	DIN IEC 60909-3 (VDE 0102 Teil 3):1997-06	VDE 0102 Teil 3
–	IEC/TR 60909-4:2000	–	–
–	IEC 60949:1988	–	–
–	IEC 60986:2000	–	–

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN 60071-1 (VDE 0111 Teil 1), Isolationskoordination – Teil 1: Begriffe, Grundsätze und Anforderungen (IEC 60071-1:1993); Deutsche Fassung EN 60071-1:1995.

DIN EN 60865-1 (VDE 0103), Kurzschlussströme – Berechnung der Wirkung – Teil 1: Begriffe und Berechnungsverfahren (IEC 60865-1:1993); Deutsche Fassung EN 60865-1:1993.

DIN EN 60865-1 Berichtigung 1 (VDE 0103 Berichtigung 1), Berichtigungen zu DIN EN 60865-1 (VDE 0103):1994-11 (EN 60865-1:1993).

DIN EN 60865-1 Beiblatt 1 (VDE 0103 Beiblatt 1), Kurzschlussströme – Berechnung der Wirkung – Teil 1: Begriffe und Berechnungsverfahren; Beispiele für die Berechnung.

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

DIN IEC 60038, *IEC-Normspannungen*; *Identisch mit IEC 60038, Ausgabe 1983.*

DIN IEC 60050-131, *Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch – Teil 131: Elektrische Stromkreise und magnetische Kreise.*

DIN IEC 60909-3 (VDE 0102 Teil 3), *Kurzschlussströme – Berechnung der Ströme in Drehstromanlagen – Teil 3: Doppelerdkurzschlussströme und Teilkurzschlussströme über Erde (IEC 60909-3:1995).*

DIN VDE 0102 Beiblatt 3 (VDE 0102 Beiblatt 3), *Berechnung von Kurzschlussströmen in Drehstromnetzen – Faktoren für die Berechnung von Kurzschlussströmen.*

DIN VDE 0102 Beiblatt 2 (VDE 0102 Beiblatt 2), *Berechnung von Kurzschlussströmen in Drehstromnetzen – Anwendungsleitfaden für die Berechnung von Kurzschlussströmen in Niederspannungsstrahlennetzen.*

Deutsche Fassung

Kurzschlussströme in Drehstromnetzen
Teil 0: Berechnung der Ströme
(IEC 60909-0:2001)

Short-circuit currents in three-phase a.c.
systems
Part 0: Calculation of currents
(IEC 60909-0:2001)

Courants de court-circuit dans les réseaux
triphasés à courant alternatif
Partie 0: Calcul des courants
(CEI 60909-0:2001)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2001-07-01 angenommen. Die 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 Zentralsekretariat 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 Zentralsekretariat mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CENELEC-Mitglieder sind die nationalen elektrotechnischen Komitees von Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, Spanien, der Tschechischen Republik und dem Vereinigten Königreich.

CENELEC

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

Zentralsekretariat: rue de Stassart 35, B-1050 Brüssel

Vorwort

Der Text des Schriftstücks 73/119/FDIS, zukünftige 1. Ausgabe von IEC 60909-0, ausgearbeitet von dem IEC TC 73 „Short-circuit currents“, wurde der IEC-CENELEC Parallelen Abstimmung unterworfen und von CENELEC am 2001-07-01 als EN 60909-0 angenommen.

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem die EN auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muss (dop): 2002-04-01
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die der EN entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2004-07-01

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 60909-0:2001 wurde von CENELEC ohne irgendeine Abänderung als Europäische Norm angenommen.

Inhalt

	Seite
Vorwort	2
1 Allgemeines.....	6
1.1 Anwendungsbereich.....	6
1.2 Normative Verweisungen	7
1.3 Begriffe	7
1.4 Formelzeichen, Indizes und hochgestellte Zeichen	11
1.4.1 Formelzeichen	11
1.4.2 Indizes.....	13
1.4.3 Hochgestellte Zeichen	14
2 Eigenschaften von Kurzschlussströmen: Berechnungsmethode.....	14
2.1 Allgemeines.....	14
2.2 Voraussetzungen für die Berechnung.....	16
2.3 Methode der Berechnung.....	17
2.3.1 Ersatzspannungsquelle an der Kurzschlussstelle.....	17
2.3.2 Anwendung der symmetrischen Komponenten	19
2.4 Größte Kurzschlussströme	21
2.5 Kleinste Kurzschlussströme	21
3 Kurzschlussimpedanzen elektrischer Betriebsmittel.....	22
3.1 Allgemeines.....	22
3.2 Netzeinspeisungen.....	22
3.3 Transformatoren	24
3.3.1 Zweiwicklungstransformatoren	24
3.3.2 Dreiwicklungstransformatoren	24
3.3.3 Impedanzkorrekturfaktoren für Zwei- und Dreiwicklungsnetztransformatoren	26
3.4 Freileitungen und Kabel	27
3.5 Kurzschlussstrom-Begrenzungsdrösselspulen	28
3.6 Synchronmaschinen.....	28
3.6.1 Synchrongeneratoren.....	28
3.6.2 Synchronphasenschieber und -motoren	30
3.7 Kraftwerksblöcke.....	30
3.7.1 Kraftwerksblöcke mit Stufenschaltern.....	30
3.7.2 Kraftwerksblöcke ohne Stufenschalter	31
3.8 Asynchronmotoren	32
3.8.1 Allgemeines	32
3.8.2 Beitrag von Asynchronmotoren zu den Kurzschlussströmen	33
3.9 Statische Umrichter.....	35
3.10 Kondensatoren und nichtrotierende Lasten	35

	Seite
4 Berechnung der Kurzschlussströme	35
4.1 Allgemeines	35
4.2 Anfangs-Kurzschlusswechselstrom I_k''	38
4.2.1 Dreipoliger Kurzschluss.....	38
4.2.2 Zweipoliger Kurzschluss.....	43
4.2.3 Zweipoliger Kurzschluss mit Erdberührung.....	45
4.2.4 Einpoliger Erdkurzschluss	45
4.3 Stoßkurzschlussstrom i_p	46
4.3.1 Dreipoliger Kurzschluss.....	46
4.3.2 Zweipoliger Kurzschluss.....	47
4.3.3 Zweipoliger Kurzschluss mit Erdberührung.....	48
4.3.4 Einpoliger Erdkurzschluss	48
4.4 Gleichstromanteil des Kurzschlussstroms	48
4.5 Symmetrischer Ausschaltwechselstrom I_b	49
4.5.1 Generatorferner Kurzschluss	49
4.5.2 Generatornaher Kurzschluss.....	49
4.6 Dauerkurzschlussstrom I_k	52
4.6.1 Dreipoliger Kurzschluss eines Generators oder eines Kraftwerksblocks.....	52
4.6.2 Dreipoliger Kurzschluss in unvermaschten Netzen.....	55
4.6.3 Dreipoliger Kurzschluss in vermaschten Netzen.....	56
4.6.4 Unsymmetrische Kurzschlüsse	56
4.6.5 Kurzschluss auf der Niederspannungsseite von Transformatoren, wenn ein Leiter auf der Oberspannungsseite unterbrochen ist	56
4.7 Klemmenkurzschluss von Asynchronmotoren	58
4.8 Joule-Integral und thermisch gleichwertiger Kurzschlussstrom	58
Anhang A (normativ) Gleichungen zur Berechnung der Faktoren m und n	62
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen	63
Bild 1 – Kurzschlussstrom für generatorfernen Kurzschluss mit konstantem Wechselstromanteil (schematischer Verlauf)	15
Bild 2 – Kurzschlussstrom für generatornahen Kurzschluss mit abklingendem Wechselstromanteil (schematischer Verlauf)	16
Bild 3 – Beschreibung der Kurzschlüsse und ihrer Ströme	17
Bild 4 – Beschreibung zur Berechnung des Anfangs-Kurzschlusswechselstroms I_k'' mit dem Verfahren der Ersatzspannungsquelle	18
Bild 5 – Kurzschlussimpedanzen eines Drehstromnetzes an der Kurzschlussstelle F	20
Bild 6 – Netzschaltplan und Ersatzschaltplan für Netzeinspeisungen	23
Bild 7 – Dreiwicklungstransformator (Beispiel)	25
Bild 8 – Zeigerdiagramm eines Synchrongenerators bei Bemessungsbetrieb.....	29

Bild 9 – Beispiel für die Abschätzung des Beitrags von Asynchronmotoren im Verhältnis zum gesamten Kurzschlussstrom	34
Bild 10 – Diagramm zur Bestimmung der Kurzschlussart (Bild 3) mit dem höchsten Kurzschlusswechselstrom, bezogen auf den dreipoligen Kurzschlusswechselstrom an der Kurzschlussstelle, wenn die Impedanzwinkel der Impedanzen $\underline{Z}_{(1)}$, $\underline{Z}_{(2)}$, $\underline{Z}_{(0)}$ gleich sind	37
Bild 11 – Beispiele für einfach gespeiste Kurzschlüsse	39
Bild 12 – Beispiel für ein unvermaschtes Netz	40
Bild 13 – 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	41
Bild 14 – Beispiel eines vermaschten Netzes mit mehreren Quellen	44
Bild 15 – Faktor κ bei Reihenschaltung als Funktion des Verhältnisses R/X oder X/R	46
Bild 16 – Faktor μ zur Berechnung des Ausschaltwechselstroms I_b	50
Bild 17 – Faktor q zur Berechnung des Ausschaltwechselstroms von Asynchronmotoren	51
Bild 18 – Faktoren $\lambda_{\min}$ und $\lambda_{\max}$ für Turbogeneratoren.	54
Bild 19 – Faktoren $\lambda_{\min}$ und $\lambda_{\max}$ für Schenkelpolgeneratoren	54
Bild 20 – Kurzschlussströme auf der Nieder- und Oberspannungsseite eines Transformators Dyn5, wenn ein Leiter (Sicherung) auf der Oberspannungsseite unterbrochen ist	56
Bild 21 – Faktor m für den Wärmeeffekt des Gleichstromanteils des Kurzschlussstroms (die Gleichung für m ist zum Zwecke der Programmierung im Anhang A angegeben)	60
Bild 22 – Faktor n für den Wärmeeffekt des Wechselstromanteils des Kurzschlussstroms (die Gleichung für n ist zum Zwecke der Programmierung im Anhang A angegeben)	60
 Tabelle 1 – Spannungsfaktor c	19
Tabelle 2 – Faktoren α und β zur Berechnung der Kurzschlussströme nach Gleichung (90) Bemessungsübersetzungsverhältnis $t_r = U_{rTHV}/U_{rTLV}$	57
Tabelle 3 – Berechnung der Kurzschlussströme von Asynchronmotoren bei Klemmenkurzschluss (siehe 4.7)	58

1 Allgemeines

1.1 Anwendungsbereich

Dieser Teil der IEC 60909 gilt für die Berechnung von Kurzschlussströmen

- in Niederspannungs-Drehstromnetzen,
- 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.

Im Fall der zufälligen oder beabsichtigten leitfähigen Verbindung zwischen einem Leiter und der lokalen Erde muss man zwischen den folgenden beiden Fällen klar unterscheiden mit Rücksicht auf ihre physikalischen Eigenschaften und Wirkungen (was zu unterschiedlichen Voraussetzungen für ihre Berechnung führt):

- Leiter-Erde-Kurzschluss, der in einem Netz mit direkter Neutralpunktterdung oder in einem Netz mit Impedanz-Neutralpunktterdung auftritt;
- Leiter-Erde-Einfacherdschluss, der in einem Netz mit isoliertem Sternpunkt oder in einem Netz mit Erdschlusskompensation auftritt. Dieser Fehler liegt außerhalb des Anwendungsbereichs und wird deshalb in dieser Norm nicht behandelt.

Für Ströme bei zwei separaten gleichzeitigen Erdschlüssen (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, die im Allgemeinen auf den Bemessungsdaten der elektrischen Betriebsmittel und der Topologie des Netzes beruht, hat den Vorteil, dass diese 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;
- der kleinste Kurzschlussstrom, der z. B. für die Auswahl von Sicherungen und für die Einstellung von Schutzeinrichtungen und für die Überprüfung des Hochlaufs von Motoren verwendet werden kann.

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, werden in dieser Norm nicht berücksichtigt.

Diese Norm schließt nicht die Kurzschlussströme ein, die unter Prüffeldbedingungen absichtlich in Kurzschluss-Prüffeldern erzeugt werden.

Diese Norm beschäftigt sich nicht mit der Berechnung von Kurzschlussströmen in Anlagen auf Schiffen oder in Flugzeugen.

1.2 Normative Verweisungen

Die folgenden Normen enthalten Festlegungen, die durch Verweisung in diesem Text Bestandteil der vorliegenden Internationalen Norm sind. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieser Norm waren die angegebenen Ausgaben gültig. Alle Normen unterliegen der Überarbeitung. Vertragspartner, deren Vereinbarungen auf dieser Internationalen Norm basieren, werden gebeten, die Möglichkeit zu prüfen, ob die jeweils neuesten Ausgaben der im Folgenden genannten Normen angewendet werden können. Die Mitglieder von IEC und ISO führen Verzeichnisse der gegenwärtig gültigen Internationalen Normen.

IEC 60038:1983, *IEC standard voltages*.

IEC 60050(131):1978, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 131: Electric and magnetic circuits*.

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

IEC 60050(195):1998, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 195: Earthing and protection against electric shock*.

IEC 60056:1987, *High-voltage alternating-current circuit-breakers*.

IEC 60071-1:1993, *Insulation coordination – Part 1: Definitions, principles and rules*.

IEC 60781:1989, *Application guide for calculation of short-circuit currents in low-voltage radial systems*.

IEC 60865-1:1993, *Short-circuit currents – Calculation of effects – Part 1: Definitions and calculation methods*.

IEC TR 60909-1:2002, *Short-circuit current calculation in three-phase a.c. systems – Part 1: Factors for the calculation of short-circuit currents in three-phase a.c. systems according to IEC 60909-0*.

IEC TR3 60909-2:1992, *Electrical equipment – Data for short-circuit calculations in accordance with IEC 60909*.

IEC 60909-3:1995, *Short-circuit current calculation in three-phase a.c. systems – Part 3: Currents during two separate simultaneous single phase line-to-earth short circuits and partial short-circuit currents flowing through earth*.

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

IEC 60949:1988, *Calculation of thermally permissible short-circuit currents, taking into account non-adiabatic heating effects*.

IEC 60986:1989, *Guide to the short-circuit temperature limits of electrical cables with a rated voltage from 1,8/3 (3,6) kV to 18/30 (36) kV*.

1.3 Begriffe

Für die Anwendung dieser Norm gelten die Begriffe in IEC 60050(131) sowie die folgenden Begriffe.

1.3.1

Kurzschluss

zufällige oder beabsichtigte leitfähige Verbindung zwischen zwei oder mehr leitfähigen Punkten, durch die die elektrischen Potentialdifferenzen zwischen diesen leitfähigen Punkten zu Null oder nahezu zu Null erzwungen werden

1.3.1.1

mehrpolarer (zwei- oder dreipolarer) Kurzschluss

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

1.3.1.2

einpoliger Erdkurzschluss

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

1.3.2

Kurzschlussstrom

Überstrom, hervorgerufen durch einen Kurzschluss in einem elektrischen Netz

ANMERKUNG 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.

1.3.3

zu erwartender Kurzschlussstrom

Strom, der auftreten würde, wenn der Kurzschluss durch eine ideale Verbindung mit vernachlässigbarer Impedanz ersetzt würde ohne Änderung der Einspeisung (siehe Anmerkung in 1.1)

1.3.4

Kurzschlusswechselstrom

Effektivwert des Wechselstromanteils eines zu erwartenden Kurzschlussstroms (siehe 1.3.3), wobei der Gleichstromanteil, soweit vorhanden, nicht berücksichtigt wird

1.3.5

Anfangs-Kurzschlusswechselstrom I_k''

Effektivwert des Wechselstromanteils eines zu erwartenden Kurzschlussstroms (siehe 1.3.3) im Augenblick des Kurzschlusseintritts, wenn die Impedanz ihre Größe zum Zeitpunkt Null beibehält (siehe Bilder 1 und 2)

1.3.6

Anfangs-Kurzschlusswechselstromleistung S_k''

fiktive Größe, berechnet als Produkt aus dem Anfangs-Kurzschlusswechselstrom I_k'' (siehe 1.3.5), der Netz-nennspannung U_n (siehe 1.3.13) und dem Faktor $\sqrt{3}$: $S_k'' = \sqrt{3} U_n I_k''$

ANMERKUNG Die Anfangs-Kurzschlusswechselstromleistung S_k'' wird nicht für die Berechnungen dieser Norm 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: $S_{kQ}'' = \sqrt{3} U_{nQ} I_{kQ}''$ oder $Z_Q = c U_{nQ}^2 / S_{kQ}''$

1.3.7

abklingender (aperiodischer) Anteil $i_{d.c.}$ des Kurzschlussstroms

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

1.3.8

Stoßkurzschlussstrom i_p

maximal möglicher Augenblickswert des zu erwartenden Kurzschlussstroms (siehe Bilder 1 und 2)

ANMERKUNG Die Größe des Stoßkurzschlussstroms ist abhängig vom Augenblick des Kurzschlusseintritts. Die Berechnung des dreipoligen Stoßkurzschlussstroms i_p gilt für den Leiter und den Augenblick, in dem der größtmögliche Kurzschlussstrom auftritt. Folgefehler werden nicht betrachtet.

1.3.9**Ausschaltwechselstrom I_b**

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

1.3.10**Dauerkurzschlussstrom I_k**

Effektivwert des Kurzschlussstroms, der nach Abklingen aller Ausgleichsvorgänge bestehen bleibt (siehe Bilder 1 und 2)

1.3.11**Anzugsstrom I_{LR}**

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

1.3.12**elektrischer Ersatzschaltplan**

Modell zur Beschreibung des Verhaltens eines Stromkreises durch einen Schaltplan mit idealen Elementen [IEV 131-01-33]

1.3.13**Netzennspannung U_n**

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

ANMERKUNG Werte sind in IEC 60038 angegeben.

1.3.14**Ersatzspannungsquelle $cU_n/\sqrt{3}$**

Spannung einer idealen Quelle, die an der Kurzschlussstelle im Mitsystem eingeführt wird zur Berechnung des Kurzschlussstroms nach 2.3. Dies ist die einzige wirksame Spannung des Netzes

1.3.15**Spannungsfaktor c**

Verhältnis zwischen der Ersatzspannungsquelle und der Netzennspannung U_n dividiert durch $\sqrt{3}$. Die Werte sind in Tabelle 1 angegeben

ANMERKUNG 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 2.3.1;
- das subtransiente Verhalten von Generatoren und Motoren.

1.3.16**subtransiente Spannung E'' einer Synchronmaschine**

Effektivwert der symmetrischen inneren Spannung einer Synchronmaschine, die im Kurzschlussaugenblick hinter der subtransienten Reaktanz X_d'' wirksam ist

1.3.17**generatorferner Kurzschluss**

Kurzschluss, bei dem die Größe des Wechselstromanteils des zu erwartenden Kurzschlussstroms im Wesentlichen konstant bleibt (siehe Bild 1)

1.3.18

generatornaher Kurzschluss

Kurzschluss, bei dem 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 I_k'' ohne Motoren beitragen (siehe Bild 2)

1.3.19

Kurzschlussimpedanzen an der Kurzschlussstelle F

1.3.19.1

Kurzschlussmitimpedanz $\underline{Z}_{(1)}$ eines Drehstromnetzes

Impedanz des Mitsystems von der Kurzschlussstelle aus betrachtet, siehe 2.3.2 und Bild 5a

1.3.19.2

Kurzschlussgegenimpedanz $\underline{Z}_{(2)}$ eines Drehstromnetzes

Impedanz des Gegensystems von der Kurzschlussstelle aus betrachtet, siehe 2.3.2 und Bild 5b

1.3.19.3

Kurzschlussnullimpedanz $\underline{Z}_{(0)}$ eines Drehstromnetzes

Impedanz des Nullsystems von der Kurzschlussstelle aus betrachtet, siehe 2.3.2 und Bild 5c. Sie enthält den dreifachen Wert der Impedanz $\underline{Z}_N$ zwischen Neutralpunkt und Erde

1.3.19.4

Kurzschlussimpedanz $\underline{Z}_k$ eines Drehstromnetzes

abgekürzte Bezeichnung für die Kurzschlussmitimpedanz $\underline{Z}_{(1)}$ nach 1.3.19.1 zur Berechnung dreipoliger Kurzschlussströme

1.3.20

Kurzschlussimpedanzen elektrischer Betriebsmittel

1.3.20.1

Kurzschlussmitimpedanz $\underline{Z}_{(1)}$ eines elektrischen Betriebsmittels

Verhältnis der Leiter-Neutralpunkt-Spannung zum Kurzschlussstrom des zugehörigen Leiters eines elektrischen Betriebsmittels, wenn dieses durch ein mitlaufendes symmetrisches Spannungssystem gespeist wird (Abschnitt 2 und IEC 60909-4)

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

1.3.20.2

Kurzschlussgegenimpedanz $\underline{Z}_{(2)}$ eines elektrischen Betriebsmittels

Verhältnis der Leiter-Neutralpunkt-Spannung zum Kurzschlussstrom des zugehörigen Leiters eines elektrischen Betriebsmittels, wenn dieses durch ein gegenläufiges symmetrisches Spannungssystem gespeist wird (Abschnitt 2 und IEC 60909-4)

1.3.20.3

Kurzschlussnullimpedanz $\underline{Z}_{(0)}$ eines elektrischen Betriebsmittels

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 (Abschnitt 2 und IEC 60909-4)

1.3.21

subtransiente Reaktanz X_d'' einer Synchronmaschine

im Kurzschlussaugenblick wirksame Reaktanz. Für die Berechnung der Kurzschlussströme ist der gesättigte Wert X_d'' zu wählen

ANMERKUNG Wenn die Reaktanz X_d'' in Ohm durch die Bemessungsreaktanz $Z_{rG} = U_{rG}^2 / S_{rG}$ der Synchronmaschine geteilt wird, so wird das Ergebnis in per unit durch einen kleinen Buchstaben gekennzeichnet: $x_d'' = X_d'' / Z_{rG}$.

1.3.22

Mindestschaltverzug $t_{\min}$

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

ANMERKUNG 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.

1.3.23

thermisch gleichwertiger Kurzschlussstrom I_{th}

der 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

1.4 Formelzeichen, Indizes und hochgestellte Zeichen

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

1.4.1 Formelzeichen

A	Anfangswert des aperiodischen Anteils $i_{d.c.}$
$\underline{a}$	komplexer Einheitszeiger
a	Verhältnis zwischen unsymmetrischem Kurzschlussstrom und dreipoligem Kurzschlussstrom
c	Spannungsfaktor
$cU_n / \sqrt{3}$	Ersatzspannungsquelle (Effektivwert)
E''	subtransiente Spannung einer Synchronmaschine
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}	Anzugsstrom eines Asynchronmotors
I_r	Bemessungsstrom eines elektrischen Betriebsmittels
I_{th}	thermisch wirksamer Kurzschlussstrom
$i_{d.c.}$	abklingender aperiodischer Anteil des Kurzschlussstroms
i_p	Stoßkurzschlussstrom
K	Impedanzkorrekturfaktor
m	Faktor für den Wärmeeffekt des Gleichstromanteils des Kurzschlussstroms
n	Faktor für den Wärmeeffekt des Wechselstromanteils des Kurzschlussstroms
p	Polpaarzahl eines Asynchronmotors
p_G	Bereich der Generatorspannungsregelung

p_T	Bereich der Transformatorspannungsverstellung
P_{krT}	Transformatorwicklungsverluste bei Bemessungsstrom
P_{rM}	Bemessungswirkleistung eines Asynchronmotors ($P_{rM} = S_{rM} \cos \varphi_{rM} \eta_{rM}$)
q	Faktor zur Berechnung des Ausschaltwechselstroms 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 1.3.6
S_r	Bemessungsscheinleistung eines elektrischen Betriebsmittels
t_{min}	Mindestschaltverzug
t_r	Bemessungsübersetzungsverhältnis (Stufenschalter auf der Hauptanzapfung) $t_r \geq 1$
T_k	Dauer des Kurzschlussstroms, Kurzschlussdauer
U_m	höchste Spannung für Betriebsmittel, Leiter-Leiter (Effektivwert)
U_n	Netznennspannung, Leiter-Leiter (Effektivwert)
U_r	Bemessungsspannung, Leiter-Leiter (Effektivwert)
u_{kr}	Bemessungswert der Kurzschlussspannung eines Transformators in Prozent
u_{kR}	Kurzschlussspannung einer Kurzschlussstrom-Begrenzungsdrösselspele 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''	subtransiente Reaktanz einer Synchronmaschine in der Längs- bzw. Querachse (gesättigter Wert)
x_d	ungesättigte synchrone Reaktanz, bezogener Wert
$x_{d sat}$	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 Stoßkurzschlussstroms
λ	Faktor zur Berechnung des Dauerkurzschlussstroms

μ	Faktor zur Berechnung des Ausschaltwechselstroms
μ_0	absolute Permeabilität des Vakuums, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m
ρ	spezifischer Widerstand
φ	Phasenwinkel
θ_e	Leitertemperatur am Ende des Kurzschlusses
01	Bezugsschiene des Mitsystems
02	Bezugsschiene des Gegensystems
00	Bezugsschiene des Nullsystems

1.4.2 Indizes

(1)	Komponente des Mitsystems
(2)	Komponente des Gegensystems
(0)	Komponente des Nullsystems
a.c.	Wechselstrom
d.c.	Gleichstrom
f	Fiktiv
k oder k3	dreipoliger Kurzschluss, siehe Bild 3a
k1	einpoliger Kurzschluss gegen Erde oder Neutraleiter, siehe Bild 3d
k2	zweipoliger Kurzschluss, siehe Bild 3b
k2E bzw. kE2E	zweipoliger Kurzschluss mit Erdberührung, siehe Bild 3c
K	Impedanzen oder Reaktanzen, berechnet mit einem Impedanzkorrekturfaktor: K_T , K_G oder K_S bzw. K_{SO}
max	Maximum
min	Minimum
n	Nennwert (IEV 151-04-01)
r	Bemessungswert (IEV 151-04-03)
rsl	Resultierend
t	transformierte Größe
AT	Eigenbedarfstransformator
B	Sammelschiene
E	Erde
F	Kurzschlussstelle
G	Generator
HV	Hochspannung, Oberspannungsseite eines Transformators
LV	Niederspannung, Unterspannungsseite eines Transformators
L	Leitung
LR	Anzugs-(festgebremster)Rotor
L1, L2, L3	Leiter eines Drehstromnetzes
M	Asynchronmotor oder Gruppe von Asynchronmotoren
~~M~~	ohne Motor
MV	Mittelspannung, Mittelspannungsseite eines Transformators
N	Neutralpunkt eines Drehstromnetzes, Sternpunkt eines Generators oder Transformators
P	Klemme, Pol

EN 60909-0:2001

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

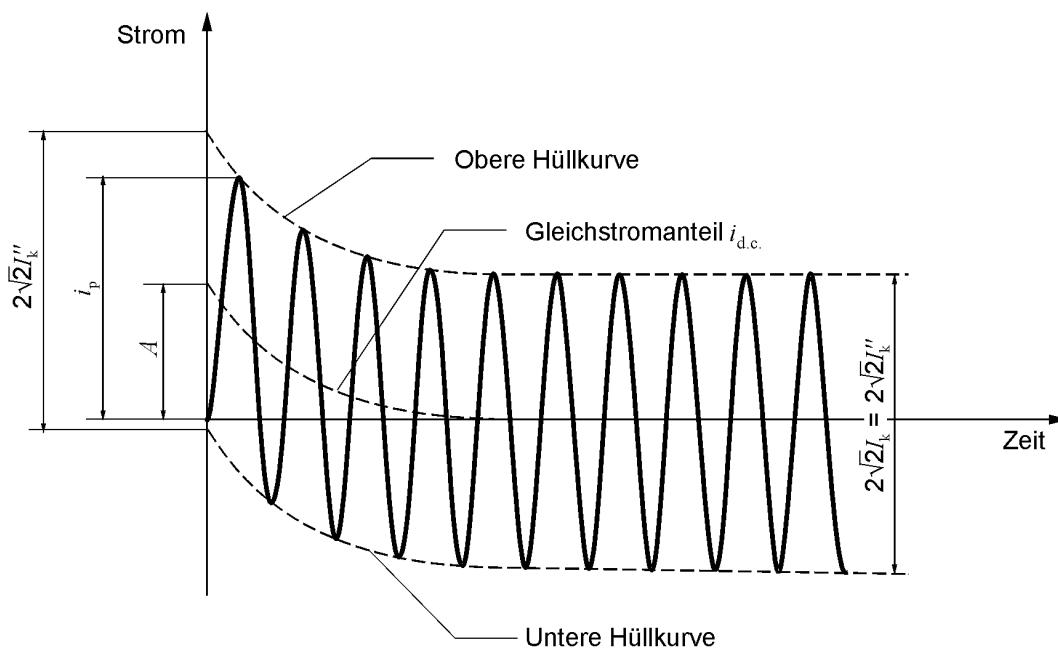
1.4.3 Hochgestellte Zeichen

''	subtransienter Wert, Anfangswert
'	Resistanz- oder Reaktanzbelag
B	Größe vor dem Kurzschluss

2 Eigenschaften von Kurzschlussströmen: Berechnungsmethode

2.1 Allgemeines

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



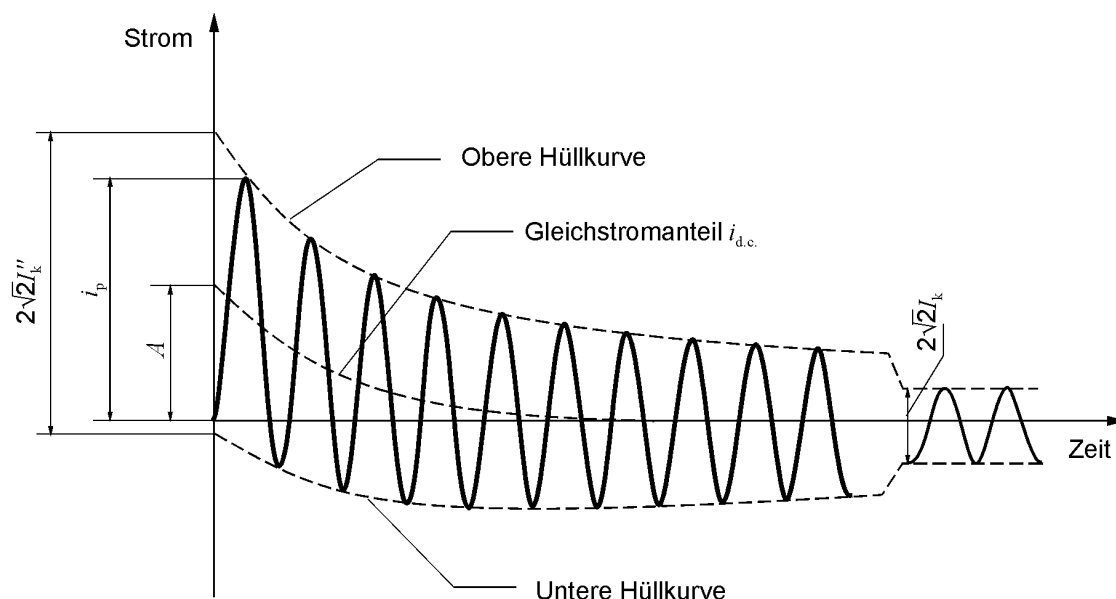
Legende

- I_k'' Anfangs-Kurzschlusswechselstrom
- i_p Stoßkurzschlussstrom
- I_k Dauerkurzschlussstrom
- $i_{d.c.}$ Gleichstromanteil des Kurzschlussstroms
- A Anfangswert des Gleichstromanteils $i_{d.c.}$

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 Spitzenwert i_p des Kurzschlussstroms nach dem Kurzchlusseintritt. Der höchste 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 $\underline{Z}_k$, 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 $i_{d.c.}$ anzugeben. Spezielle Verfahren zur Berechnung von i_p mit ausreichender Genauigkeit werden in 4.3 angegeben.



Legende

- I_k'' Anfangs-Kurzschlusswechselstrom
 i_p Stoßkurzschlussstrom
 I_k Dauerkurzschlussstrom
 $i_{d.c.}$ Gleichstromanteil des Kurzschlussstroms
 A Anfangswert des Gleichstromanteils $i_{d.c.}$

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

2.2 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. Dies ist zulässig, weil der Impedanzkorrekturfaktor K_T für Netztransformatoren eingeführt wurde.
- Lichtbogenwiderstände werden nicht berücksichtigt.
- Alle Leitungskapazitäten und Admittanzen von nichtrotierenden Lasten werden vernachlässigt, mit Ausnahme der im Nullsystem.

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.

Bei symmetrischen und unsymmetrischen Kurzschlüssen nach Bild 3 ist es nützlich, die Kurzschlussströme mit Hilfe des Verfahrens der symmetrischen Komponenten zu berechnen (siehe 2.3.2).

Bei der Berechnung der Kurzschlussströme in Netzen mit verschiedenen Spannungsebenen ist es notwendig, Impedanzen von einer auf eine andere Spannungsebene umzurechnen, üblicherweise auf die Spannungsebene, für die der Kurzschlussstrom berechnet werden soll. Für per-unit-Systeme oder andere ähnliche

Einheitensysteme ist keine Umrechnung notwendig, solange die Netze kohärent sind, d. h. solange $U_{rTHV}/U_{rTLV} = U_{nHV}/U_{nLV}$ für jeden Transformator des Netzes gilt, der Teilkurzschlussströme führt. U_{rTHV}/U_{rTLV} ist im Allgemeinen nicht gleich U_{nHV}/U_{nLV} (siehe IEC 60909-2 und Beispiele in IEC 60909-4).

Die Impedanzen von Betriebsmitteln in über- oder unterlagerten Netzen sind mit dem Quadrat des Bemessungsübersetzungsverhältnisses t_r zu dividieren oder zu multiplizieren. Spannungen und Ströme sind mit dem Bemessungs-Übersetzungsverhältnis t_r umzurechnen.

2.3 Methode der Berechnung

2.3.1 Ersatzspannungsquelle an der Kurzschlussstelle

Die Berechnungsmethode beruht auf der Einführung einer Ersatzspannungsquelle an der Kurzschlussstelle. Die Ersatzspannungsquelle ist die einzige wirksame Spannung des Netzes. Alle Netzeinspeisungen, Synchron- und Asynchronmaschinen werden durch ihre Innenimpedanzen ersetzt (siehe [Abschnitt 3](#)).

In allen Fällen ist es möglich, den Kurzschlussstrom an der Kurzschlussstelle F mit Hilfe der Ersatzspannungsquelle zu bestimmen. Betriebsdaten und die Belastungen, die Stellung der Transformatorstufenschalter, die Erregung der Generatoren usw. sind nicht erforderlich. Zusätzliche Berechnungen für alle möglichen Last-Flusszustände im Augenblick des Kurzschlusseintritts sind überflüssig.

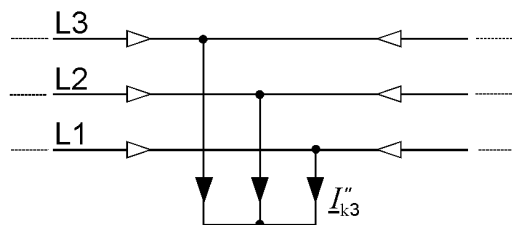


Bild 3a – Dreipoliger Kurzschluss

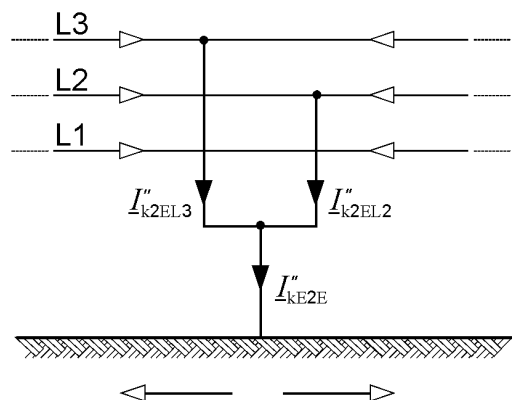


Bild 3c – Zweipoliger Kurzschluss mit Erdberührung

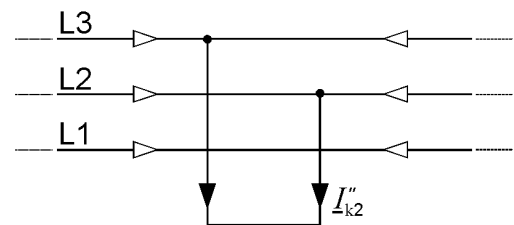


Bild 3b – Zweipoliger Kurzschluss

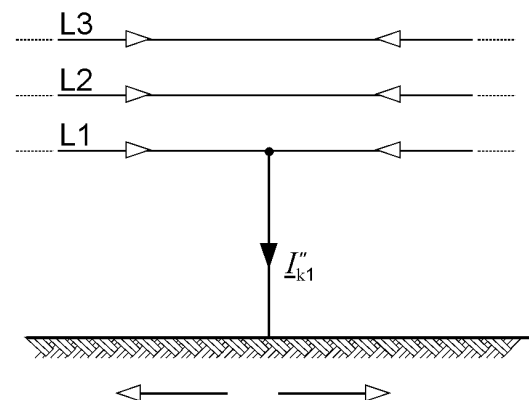


Bild 3d – Einpoliger Erdkurzschluss

ANMERKUNG Die Richtung der Strompfeile wurde willkürlich gewählt.

Bild 3 – Beschreibung der Kurzschlüsse und ihrer Ströme

→ Kurzschlussstrom

→ Teilkurzschlussstrom in Leitern und der Erdrückleitung