

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-Begrenzungsdrosselspulen	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

	Seite
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

	Seite
11.2.5	Dauerkurzschlussstrom einer Netzeinspeisung.....59
11.2.6	Dauerkurzschlussstrom bei mehrseitig einfach gespeisten Kurzschlüssen59
11.2.7	Dauerkurzschlussstrom bei mehrfach gespeisten Kurzschlüssen.....60
11.3	Unsymmetrische Kurzschlüsse60
12	Kurzschlüsse auf der Niederspannungsseite von Transformatoren, wenn ein Leiter auf der Oberspannungsseite unterbrochen ist60
13	Klemmenkurzschluss von Asynchronmotoren62
14	Joule-Integral und thermisch gleichwertiger Kurzschlussstrom63
Anhang A (normativ)	Gleichungen zur Berechnung der Faktoren m und n66
Anhang B (informativ)	Knotenadmittanz- und Knotenimpedanzmatrizen67
Literaturhinweise70
Anhang ZA (normativ)	Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen71
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 Ströme19
Bild 4 –	Beschreibung zur Berechnung des Anfangs-Kurzschlusswechselstroms I_k'' in Übereinstimmung mit dem Verfahren der Ersatzspannungsquelle21
Bild 5 –	Netzschaltplan und Ersatzschaltplan für Netzeinspeisungen23
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 sind37
Bild 8 –	Beispiele für einfach gespeiste Kurzschlüsse38
Bild 9 –	Beispiel für einen mehrseitig einfach gespeisten Kurzschluss39
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 Eigenbedarfs44
Bild 12 –	Faktor κ bei Reihenschaltung als Funktion des Verhältnisses R/X oder X/R48
Bild 13 –	Faktor μ zur Berechnung des Ausschaltwechselstroms I_b52
Bild 14 –	Faktor q zur Berechnung des Ausschaltwechselstroms von Asynchronmotoren53
Bild 15 –	Faktoren λ_{\min} und λ_{\max} für Turbogeneratoren58
Bild 16 –	Faktoren λ_{\min} und λ_{\max} für Schenkelpolgeneratoren.....58
Bild 17 –	Kurzschlussströme bei Kurzschluss auf der Niederspannungsseite eines Transformators Dyn5, wenn ein Leiter (Sicherung) auf der Oberspannungsseite unterbrochen ist61

	Seite
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