

## 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 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
<b>Bilder</b>	
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 –	Netzschaltplan 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 $\kappa$ bei Reihenschaltung als Funktion des Verhältnisses $R/X$ oder $X/R$ .....48
Bild 13 –	Faktor $\mu$ 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

	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
<b>Tabellen</b>	
Tabelle 1 – Spannungsfaktor $c$ .....	21
Tabelle 2 – Bedeutung der Kurzschlussströme.....	36
Tabelle 3 – Faktoren $\alpha$ und $\beta$ 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