

Inhalt

Inhaltsverzeichnis Band Band 1:

Grundlagen, Systemaufbau und Methoden — X

Inhaltsverzeichnis Band 2:

Betriebsmittel und ihre quasistationäre Modellierung — XV

Größenbezeichnungen — XXI

1 Einführung und Übersicht — 1

2 Berechnung von 3-poligen Kurzschlüssen — 3

2.1 Kurzschlussstromzeitverlauf und Kurzschlussstromkenngrößen — 3

2.2 Generatornaher und generatorferner Kurzschluss — 5

2.3 Kurzschlussstromkenngrößen — 9

2.3.1 Anfangskurzschlusswechselstrom — 9

2.3.2 Stoßkurzschlussstrom — 9

2.3.3 Ausschaltwechselstrom — 11

2.3.4 Dauerkurzschlussstrom — 12

2.3.5 Thermisch gleichwertiger Kurzschlussstrom — 13

2.4 Ersatzschaltungen der Betriebsmittel — 14

2.5 Umrechnung aller Größen auf eine Spannungsebene — 16

2.6 Exakte Kurzschlussstromberechnung — 19

2.6.1 Exakte Kurzschlussstromberechnung mit den Maschen- und Knotensätzen — 19

2.6.2 Exakte Kurzschlussstromberechnung mit dem Überlagerungsverfahren — 20

2.7 Genäherte Kurzschlussstromberechnung gemäß DIN EN 60909 — 20

2.7.1 Schritt 1: Anwendung des Überlagerungssatzes — 21

2.7.2 Schritt 2: Einführung der Ersatzspannungsquelle und von Vereinfachungen — 23

2.7.3 Schritt 3: Berücksichtigung von über Umrichter einspeisenden Erzeugungsanlagen — 25

2.8 Anfangskurzschlusswechselstromleistung (Kurzschlussleistung) — 26

2.9 Maßnahmen zur Kurzschlussstrombegrenzung — 28

3 Berechnung von unsymmetrischen Quer- und Längsfehlern — 31

3.1 Übersicht: Fehlerarten und Fehlerhäufigkeit — 32

3.2 Definition von Fehlertoren — 34

3.3 Fehlerbedingung für die natürlichen und die Symmetrischen Komponenten — 35

3.4	Torbeziehungen an der Fehlerstelle (Fehlertorgleichungen) — 38
3.4.1	Torbeziehungen an der Querfehlerstelle — 39
3.4.2	Torbeziehungen an der Längsfehlerstelle — 41
3.5	Dualität der Fehler und ihrer Fehlerbedingungen — 43
3.6	Allgemeine Vorgehensweise zur Behandlung von unsymmetrischen Fehlern — 44
3.7	Einfachquerfehler — 45
3.7.1	1-poliger Erd(kurz)schluss — 45
3.7.2	2-poliger Kurzschluss mit Erdberührung — 48
3.7.3	2-poliger Kurzschluss ohne Erdberührung — 50
3.7.4	3-poliger Kurzschluss mit Erdberührung — 52
3.7.5	3-poliger Kurzschluss ohne Erdberührung — 55
3.8	Einfachlängsfehler — 57
3.8.1	1-polige Unterbrechung — 57
3.8.2	2-polige Unterbrechung — 59
3.8.3	3-polige Unterbrechung — 62
3.9	Berücksichtigung von Fehlerimpedanzen — 64
3.9.1	1-poliger Erd(kurz)schluss mit Fehlerimpedanz — 64
3.9.2	2-poliger Kurzschluss mit/ohne Erdberührung mit Fehlerimpedanz — 66
3.9.3	3-poliger Kurzschluss mit/ohne Erdberührung mit Fehlerimpedanz — 67
3.9.4	1-polige Unterbrechung mit Fehlerimpedanz — 69
3.9.5	2-polige Unterbrechung mit Fehlerimpedanzen — 70
3.9.6	3-polige Unterbrechung mit Fehlerimpedanzen — 72
3.10	Vergleich der Kurzschlussstrombeträge für die Querfehler — 72
3.11	Mehrfachfehler — 74
4	Übertragungsverhältnisse in NS- und MS-Netzen — 81
4.1	Einleitung und Grundlagen — 81
4.2	Einseitig gespeiste Leitung mit einer Abnahme — 81
4.3	Einseitig gespeiste Leitung mit mehreren Abnahmen — 83
4.4	Behandlung von Verzweigungen — 86
4.5	Zweiseitig gespeiste Leitung mit mehreren Abnahmen — 87
4.5.1	Allgemeine Vorgehensweise — 87
4.5.2	Stromverteilung bei gleichen Spannungen an den Einspeisepunkten — 89
4.5.3	Stromverteilung bei ungleichen Spannungen an den Einspeisepunkten — 91
4.5.4	Auftrennung in zwei einseitig gespeiste Leitungen — 92

- 5 Stabilität der Energieübertragung — 93**
 - 5.1 Übersicht und Einteilung — 93
 - 5.2 Einmaschinenproblem — 94
 - 5.3 Statische Stabilität — 94
 - 5.3.1 Berechnungsziel und Näherungen — 94
 - 5.3.2 Mathematisches Modell und Vereinfachungen — 95
 - 5.3.3 Statische Stabilitätsbeurteilung durch Eigenwertanalyse — 97
 - 5.3.4 Vereinfachte Stabilitätsbetrachtung — 100
 - 5.3.5 Künstliche Stabilität — 102
 - 5.3.6 Stabilitätsverbessernde Maßnahmen — 104
 - 5.4 Transiente Stabilität — 105
 - 5.4.1 Mathematisches Modell und Vereinfachungen — 106
 - 5.4.2 Zeigerbild — 107
 - 5.4.3 Bewegungsgleichungen für die drei Systemzustände — 108
 - 5.4.4 Beurteilung der transienten Stabilität mit dem Flächenkriterium — 109
 - 5.4.5 Stabilitätsverbessernde Maßnahmen — 117
 - 5.4.6 Mehrmaschinenproblem und Winkelzentrum — 117

- 6 Frequenzregelung und Anpassung der Erzeugung an den Verbrauch — 119**
 - 6.1 Regelleistungsarten und ihre Bereitstellung — 119
 - 6.2 Punktmodell des Netzes — 121
 - 6.3 Frequenzverhalten der Lasten — 124
 - 6.4 Verbraucherkennlinie — 125
 - 6.5 Primär- und Sekundärregelung — 126
 - 6.6 Kraftwerkskennlinie — 127
 - 6.7 Resultierende Bewegungsgleichung des Netzes und Netzkennlinie — 129
 - 6.8 Schwungleistung (Momentanreserve) — 130
 - 6.9 Selbstregeleffekt und Inselnetz ohne Primärregelung — 130
 - 6.10 Primärregelung im Inselnetz — 134
 - 6.11 Sekundärregelung im Inselnetz — 138
 - 6.12 Frequenz-Übergabeleistungsregelung im Verbundbetrieb — 140
 - 6.12.1 Netzkennlinien und Primärregelung für den Verbundbetrieb — 141
 - 6.12.2 Sekundärregelung mit der Netzkennlinienregelung im Verbundbetrieb — 145
 - 6.13 Netzkennlinienregelung in Verbundsystemen mit mehr als zwei Regelzonen — 148
 - 6.14 Netzregelverbund — 150
 - 6.15 Frequenzabhängiger Lastabwurf — 153

- 7 Kurzschlussfestigkeit elektrischer Anlagen — 155**
 - 7.1 Thermische Kurzschlussfestigkeit — 155
 - 7.1.1 Erwärmungsvorgang eines Körpers — 155
 - 7.1.2 Thermisch gleichwertiger Kurzschlussstrom — 157
 - 7.1.3 Auslegung von elektrischen Anlagen und Betriebsmitteln — 162
 - 7.2 Mechanische Kurzschlussfestigkeit — 163
 - 7.2.1 Stromkräfte auf parallele stromdurchflossene Leiter — 165
 - 7.2.2 Stromkräfte auf Hauptleiter und wirksamer Leiterabstand — 172
 - 7.2.3 Stromkräfte auf Teilleiter — 172
 - 7.2.4 Biegemomente von biegesteifen Leitern — 174
 - 7.2.5 Berechnung der Biegespannungen — 176
 - 7.2.6 Zulässige Biegespannung — 179
 - 7.2.7 Kräfte auf Stützpunkte — 180

- 8 Sternpunktterdung — 183**
 - 8.1 Übersicht — 184
 - 8.2 Minimales Netzmodell und Ersatzschaltung — 185
 - 8.3 Ströme, Spannungen und Erdfehlerfaktor bei 1-poligen Leiter-Erde-Fehlern — 187
 - 8.4 Netze mit isoliertem Sternpunkt — 190
 - 8.4.1 Erdschlussstrom, Leiter-Erde- und Sternpunkt-Erde-Spannungen — 190
 - 8.4.2 Zeigerbild — 192
 - 8.4.3 Einsatzgebiet, Löschgrenze und Vor- und Nachteile — 192
 - 8.5 Netze mit Resonanzsternpunktterdung — 196
 - 8.5.1 Ströme, Spannungen und Erdfehlerfaktor bei 1-poligen Leiter-Erde-Fehlern — 196
 - 8.5.2 Reststrom, Verstimmung und Dämpfung — 197
 - 8.5.3 Zeigerbild — 201
 - 8.5.4 Verlagerungsspannung im fehlerfreien Betrieb — 202
 - 8.5.5 Einsatzgebiet, Löschgrenze und Vor- und Nachteile — 204
 - 8.5.6 Kurzzeitige niederohmige Sternpunktterdung — 207
 - 8.6 Netze mit niederohmiger Sternpunktterdung — 207
 - 8.6.1 Erdkurzschlussstrom, Leiter-Erde- und Sternpunkt-Erde-Spannungen — 207
 - 8.6.2 Erdfehlerfaktor sowie wirksame und nicht wirksame Sternpunktterdung — 209
 - 8.6.3 Einsatzgebiet und Vor- und Nachteile — 210
 - 8.7 Automatische Wiedereinschaltung — 211
 - 8.8 Transiente Vorgänge — 213
 - 8.9 Übersicht über die Sternpunktterdungsarten — 216

A Anhang — 219

A.1 Ausgewählte SI-Basis-Einheiten — 219

A.2 Ausgewählte abgeleitete SI-Einheiten — 219

A.3 Naturkonstanten und mathematische Konstanten — 220

Literaturverzeichnis — 221

Stichwortverzeichnis — 223