

Inhaltsverzeichnis Band 2:

Betriebsmittel und ihre quasistationäre Modellierung

Inhaltsverzeichnis Band 1:

Grundlagen, Systemaufbau und Methoden — X

Inhaltsverzeichnis Band 3:

Systemverhalten und Berechnung von Drehstromsystemen — XV

Größenbezeichnungen — XXI

1 Einführung und Übersicht — 1

2 Synchronmaschinen — 3

| | |
|-------|---|
| 2.1 | Prinzipieller Aufbau einer Synchronmaschine und Wicklungsschema — 3 |
| 2.1.1 | Ständerwicklungen und Ständerdrehfeld — 3 |
| 2.1.2 | Läuferwicklung und Läuferdrehfeld — 11 |
| 2.1.3 | Wicklungsschema und Zweiachsentheorie — 14 |
| 2.2 | Nichtstationäres Betriebsverhalten — 20 |
| 2.3 | Quasistationäres Modell — 21 |
| 2.4 | Ersatzschaltungen für die Symmetrischen Komponenten — 24 |
| 2.4.1 | Ersatzschaltungen für das Mitsystem — 25 |
| 2.4.2 | Ersatzschaltung für das Gegensystem — 33 |
| 2.4.3 | Ersatzschaltung für das Nullsystem — 34 |
| 2.5 | Funktionsweise und stationäres Betriebsverhalten — 35 |
| 2.5.1 | Funktionsweise — 35 |
| 2.5.2 | Stromquellenersatzschaltung für den stationären Zustand — 36 |
| 2.5.3 | Leerlauf und Polradspannung — 37 |
| 2.5.4 | Ankerrückwirkung — 37 |
| 2.6 | Stationäres Betriebsverhalten und Zeigerbilder — 40 |
| 2.6.1 | Blindleistungsregelung — 40 |
| 2.6.2 | Wirkleistungsregelung — 41 |
| 2.6.3 | Zeigerbild der Vollpolsynchronmaschine — 43 |
| 2.6.4 | Zeigerbild der Schenkelpolsynchronmaschine — 44 |
| 2.7 | Leistung und Drehmoment — 44 |
| 2.7.1 | Leistungsfluss in einer Drehfeldmaschine — 45 |
| 2.7.2 | Drehmoment und Wirkungsgrad einer Drehfeldmaschine — 46 |
| 2.7.3 | Leistungsfluss, Wirkungsgrad und Drehmoment einer Synchronmaschine — 47 |
| 2.7.4 | Vom Synchrongenerator an das Netz abgegebene Leistung — 47 |

| | |
|----------|--|
| 2.7.5 | Wirkleistung-Winkel-Kennlinie — 48 |
| 2.7.6 | Blindleistung-Winkel-Kennlinie — 50 |
| 2.7.7 | Leistungsdiagramm — 51 |
| 2.8 | Bewegungsgleichung — 53 |
| 2.9 | Blockgröße und Bemessungsgrößen von Turbogeneratoren — 56 |
| 2.10 | Erregersysteme von Synchronmaschinen — 57 |
| 3 | Asynchronmaschinen — 65 |
| 3.1 | Aufbau und Betriebsweise — 65 |
| 3.1.1 | Kurzschlussläufer — 65 |
| 3.1.2 | Schleifringläufer — 66 |
| 3.2 | Wirkungsprinzip und Betriebsweise — 67 |
| 3.3 | Ersatzschaltungen für die Symmetrischen Komponenten — 69 |
| 3.3.1 | Ersatzschaltungen für das Mitsystem — 70 |
| 3.3.2 | Ersatzschaltung für das Gegensystem — 72 |
| 3.3.3 | Ersatzschaltung für das Nullsystem — 73 |
| 3.4 | Bestimmung der Elemente der vereinfachten Ersatzschaltung — 74 |
| 3.5 | Leistungsfluss und Drehmoment — 74 |
| 3.6 | Bewegungsgleichung — 77 |
| 3.7 | Zeigerbild — 78 |
| 4 | Ersatznetze — 79 |
| 4.1 | Ersatzschaltung für das Mitsystem — 79 |
| 4.2 | Ersatzschaltung für das Gegensystem — 80 |
| 4.3 | Ersatzschaltung für das Nullsystem — 80 |
| 5 | Transformatoren — 83 |
| 5.1 | Bauarten und Einsatz von Wechsel- und Drehstromtransformatoren — 83 |
| 5.1.1 | Kernbauarten von Wechsel- und Drehstromtransformatoren — 83 |
| 5.1.2 | Wicklungen, Kühlung und Bemessungsgrößen von Drehstromtransformatoren — 84 |
| 5.2 | Einphasentransformator — 87 |
| 5.2.1 | Strom- und Spannungsgleichung und Flussverteilung — 87 |
| 5.2.2 | Ersatzschaltung des Einphasentransformators — 89 |
| 5.2.3 | Vereinfachte Ersatzschaltung eines Einphasentransformators — 90 |
| 5.2.4 | Idealer Transformator — 91 |
| 5.3 | Drehstromtransformatoren — 91 |
| 5.3.1 | Schaltungen von Drehstromwicklungen — 91 |
| 5.3.2 | Schaltgruppen von Drehstromtransformatoren — 94 |
| 5.3.3 | Übersetzungsverhältnis von Drehstromtransformatoren — 96 |

| | |
|--------|---|
| 5.4 | Einsatz von Drehstromtransformatoren — 99 |
| 5.4.1 | Maschinen- oder Blocktransformatoren — 100 |
| 5.4.2 | Blockeigenbedarfstransformatoren — 100 |
| 5.4.3 | Netzkuppeltransformatoren — 101 |
| 5.4.4 | Verteilungstransformatoren — 102 |
| 5.4.5 | Ortsnetztransformatoren — 102 |
| 5.5 | Ersatzschaltungen für die Symmetrischen Komponenten — 104 |
| 5.5.1 | Ersatzschaltung für das Mitsystem — 104 |
| 5.5.2 | Ersatzschaltung für das Gegensystem — 105 |
| 5.5.3 | Ersatzschaltung für das Nullsystem — 106 |
| 5.6 | Bestimmung der Ersatzschaltungselemente — 108 |
| 5.6.1 | Kurzschlussversuch und relative Bemessungskurzschlussspannung — 108 |
| 5.6.2 | Leerlaufversuch — 110 |
| 5.6.3 | Bestimmung der Nullsystemgrößen — 112 |
| 5.7 | Betriebsverhalten — 112 |
| 5.7.1 | Spannungsabfall und Kapp'sches Dreieck — 112 |
| 5.7.2 | Leerlauf — 114 |
| 5.7.3 | Kurzschluss — 115 |
| 5.7.4 | Wirkleistungsverluste und Blindleistungsbedarf — 116 |
| 5.7.5 | Wirkungsgrad — 117 |
| 5.8 | Unsymmetrische Belastung und Sternpunktbelastbarkeit — 120 |
| 5.8.1 | Durchflutungsgleichgewicht — 120 |
| 5.8.2 | Sternpunktbelastbarkeit Yyn0-Transformator mit Drei- und Fünfschenkelkern — 121 |
| 5.8.3 | Sternpunktbelastbarkeit Yyn0d5-Transformator mit Drei- und Fünfschenkelkern — 126 |
| 5.8.4 | Sternpunktbelastbarkeit Dyn5-Transformator mit Drei- und Fünfschenkelkern — 127 |
| 5.8.5 | Sternpunktbelastbarkeit Yzn5-Transformator mit Drei- und Fünfschenkelkern — 130 |
| 5.9 | Dreiwicklungstransformator — 132 |
| 5.10 | Parallelbetrieb von Transformatoren — 135 |
| 5.11 | Spartransformator — 138 |
| 5.11.1 | Typ- und Durchgangsleistung — 139 |
| 5.11.2 | Ersatzschaltung für das Mitsystem — 140 |
| 5.11.3 | Relative Bemessungskurzschlussspannung — 142 |
| 5.12 | Regeltransformator — 144 |
| 5.12.1 | Längsregelung — 145 |
| 5.12.2 | Querregelung — 145 |
| 5.12.3 | Schrägregelung — 146 |

| | |
|----------|---|
| 6 | Leitungen: Freileitungen und Kabel — 147 |
| 6.1 | Übersicht — 147 |
| 6.2 | Drehstrom-Freileitung — 150 |
| 6.2.1 | Aufbau von Freileitungen — 151 |
| 6.2.2 | Maste — 153 |
| 6.2.3 | Leiterseile — 156 |
| 6.2.4 | Erdseil — 162 |
| 6.2.5 | Isolatoren und Armaturen — 163 |
| 6.2.6 | Mastfundament und bauliche Maßnahmen — 164 |
| 6.2.7 | Querung von Verkehrswegen, Gewässern und Waldgebieten — 169 |
| 6.3 | Drehstromkabel — 170 |
| 6.3.1 | Übersicht — 170 |
| 6.3.2 | Aufbau von Energiekabeln und Aufbauelemente — 171 |
| 6.3.3 | Kabeltransport und Kabellegung — 187 |
| 6.3.4 | Querung von Verkehrswegen — 193 |
| 6.3.5 | Kabelhochspannungsprüfung — 194 |
| 6.4 | Leitungsgleichungen im Frequenzbereich — 195 |
| 6.4.1 | Lösung der Leitungsgleichungen, Wellenimpedanz und Ausbreitungskonstante — 195 |
| 6.4.2 | Sonderfall der verlustlosen Leitung — 196 |
| 6.4.3 | Sonderfall der verlustarmen Leitung — 197 |
| 6.5 | Leitungsparameter — 198 |
| 6.5.1 | Ohmsch-induktive Kopplung — 198 |
| 6.5.2 | Kapazitive Kopplung — 203 |
| 6.5.3 | Verdrillung — 206 |
| 6.5.4 | Typische Parameter von Freileitungen und Kabel — 213 |
| 6.6 | Vierpolgleichungen und Ersatzschaltungen — 214 |
| 6.6.1 | Kettenform — 214 |
| 6.6.2 | Admittanzform und Π -Ersatzschaltung — 215 |
| 6.6.3 | Impedanzform und T-Ersatzschaltung — 215 |
| 6.6.4 | Ersatzschaltungen für die elektrisch kurze Leitung — 216 |
| 6.6.5 | Vereinfachte Ersatzschaltung — 217 |
| 6.7 | Betriebsverhalten — 217 |
| 6.7.1 | Zeigerbild und Spannungsabfall — 217 |
| 6.7.2 | Übertragbare Leistung — 220 |
| 6.7.3 | Verluste und Blindleistungsbedarf — 221 |
| 6.7.4 | Natürlicher Betrieb (Anpassung) — 222 |
| 6.7.5 | Leerlaufende Leitung, Ladestrom und Ferranti-Effekt — 225 |
| 6.7.6 | Kurzgeschlossene Leitung — 227 |

| | |
|--|--|
| 7 | Drosselspulen, Kondensatoren und Kompenstation — 229 |
| 7.1 | Reihendrosselspule zur Begrenzung von Kurzschlussströmen — 229 |
| 7.2 | Paralleldrosselspule zur Ladestromkompensation — 230 |
| 7.3 | Sternpunkttdrosselspule zur Sternpunktterdung — 233 |
| 7.4 | Reihenkondensator zur Spannungs- und Stabilitätsverbesserung — 234 |
| 7.4.1 | Einsatz im Mittelspannungsnetz zur Spannungsbetragsverbesserung — 235 |
| 7.4.2 | Einsatz im Höchstspannungsnetz zur Stabilitätsverbesserung — 236 |
| 7.5 | Parallelkondensatoren — 237 |
| A | Anhang — 241 |
| A.1 | Ausgewählte SI-Basis-Einheiten — 241 |
| A.2 | Ausgewählte abgeleitete SI-Einheiten — 241 |
| A.3 | Naturkonstanten und mathematische Konstanten — 242 |
| Literaturverzeichnis — 243 | |
| Stichwortverzeichnis — 245 | |

