

# Inhalt

## 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
<b>3</b>	<b>Asynchronmaschinen —</b>	<b>65</b>
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
<b>4</b>	<b>Ersatznetze —</b>	<b>79</b>
4.1	Ersatzschaltung für das Mitsystem —	79
4.2	Ersatzschaltung für das Gegensystem —	80
4.3	Ersatzschaltung für das Nullsystem —	80
<b>5</b>	<b>Transformatoren —</b>	<b>83</b>
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  $\Pi$ -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 Kompensation — 229**
- 7.1 Reihendrosselspule zur Begrenzung von Kurzschlussströmen — 229
- 7.2 Paralleldrosselspule zur Ladestromkompensation — 230
- 7.3 Sternpunktdrosselspule zur Sternpunkterdung — 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**