

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

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

<b>7</b>	<b>Drosselpulen, Kondensatoren und Kompensation — 229</b>
7.1	Reihendrosselpule zur Begrenzung von Kurzschlussströmen — <b>229</b>
7.2	Paralleldrosselpule zur Ladestromkompensation — <b>230</b>
7.3	Sternpunktdrosselpule zur Sternpunktterdung — <b>233</b>
7.4	Reihen Kondensator zur Spannungs- und Stabilitätsverbesserung — <b>234</b>
7.4.1	Einsatz im Mittelspannungsnetz zur Spannungsbetragsverbesserung — <b>235</b>
7.4.2	Einsatz im Höchstspannungsnetz zur Stabilitätsverbesserung — <b>236</b>
7.5	Parallelkondensatoren — <b>237</b>
<b>A</b>	<b>Anhang — 241</b>
A.1	Ausgewählte SI-Basis-Einheiten — <b>241</b>
A.2	Ausgewählte abgeleitete SI-Einheiten — <b>241</b>
A.3	Naturkonstanten und mathematische Konstanten — <b>242</b>
<b>Literaturverzeichnis — 243</b>	
<b>Stichwortverzeichnis — 245</b>	

