

2791-8353

Wolfgang Courtin

# **Elektrische Energietechnik**

**Einführung für alle Studiengänge**

Mit 417 Abbildungen und 2 Tabellen

Herausgegeben von Otto Mildenerger



**vieweg**

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einführung</b> .....	1
1.1 Grundbegriffe der elektrischen Energietechnik .....	1
1.2 Planung, Bau und Betrieb .....	5
1.3 Anforderungen an elektrische Energieanlagen .....	5
1.4 Probleme elektrischer Anlagen und Netze .....	12
<b>2 Stromversorgung mit Gleichstrom</b> .....	14
2.1 Die Gleichstrommaschine als Generator .....	14
~ 2.1.1 Anwendungen der Gleichstrommaschine .....	14
2.1.2 Physikalische Grundlagen .....	14
2.1.3 Induzierte Spannung in einem bewegten Leiterstab .....	15
2.1.4 Prinzipieller Aufbau eines Gleichstromgenerators .....	16
2.1.5 Ankerwicklung und Kommutator .....	17
2.1.6 Ringanker und Trommelanker .....	19
2.1.7 Ankerquerfeld und Wendepole .....	21
2.1.8 Erregerschaltungen .....	23
2.1.9 Quellenspannungskennlinien des fremderregten Generators .....	24
2.1.10 Drehmoment und Leistung .....	25
2.1.11 Belastungskennlinien .....	26
2.2 Die Gleichstrommaschine als Motor .....	27
2.2.1 Generator- und Motorbetrieb .....	27
2.2.2 Schaltungen von Gleichstrommotoren, Richtungsregeln .....	28
2.2.3 Motor und Arbeitsmaschine .....	29
2.2.4 Leistungsbilanz und Ersatzschaltbild .....	29
2.2.5 Drehmomentkennlinien des fremderregten Gleichstrommotors .....	30
2.2.6 Drehzahlkennlinien des fremderregten Gleichstrommotors .....	31
2.2.7 Die Kennlinien des Gleichstrom-Reihenschlußmotors .....	36
2.2.8 Vierquadrantenbetrieb .....	37
2.3 Akkumulatoren .....	41
2.3.1 Elektrochemische Spannungsquellen und Energiespeicher .....	41
2.3.2 Anwendungsgebiete von Batterien .....	42
2.3.3 Der Aufbau des Bleiakкумуляtors .....	43

2.3.4	Laden und Entladen einer Bleiakкумуляatorzelle .....	43
2.3.5	Alkalische Batteriesysteme auf Nickelbasis .....	45
2.3.6	Hochtemperaturbatterien auf Natriumbasis .....	46
2.3.7	Ersatzschaltplan und Kennlinien im Kurzzeitbetrieb .....	46
2.3.8	Ladevorgänge im Langzeitbetrieb .....	48
2.3.9	Ladegeräte und Ladeverfahren .....	52
2.3.10	Betriebsarten nach VDE 510 .....	54
<b>3</b>	<b>Stromversorgung mit Wechselstrom</b> .....	<b>57</b>
3.1	Der Wechselstromgenerator .....	57
3.2	Vorteile des Wechselstromes .....	58
3.3	Der Einphasen-Transformator .....	60
3.3.1	Prinzip, Aufbau, Anwendungen .....	60
3.3.2	Wirkungsweise eines idealen Transformators .....	61
3.3.3	Transformatorschaltungen .....	66
3.3.4	Der reale Transformator im Leerlauf .....	68
3.3.5	Der reale Transformator im Kurzschluß .....	75
3.3.6	Der reale Transformator bei Belastung .....	82
<b>4</b>	<b>Stromversorgung mit Drehstrom</b> .....	<b>86</b>
4.1	Was ist Drehstrom? .....	86
4.1.1	Geschichtliche Entwicklung .....	86
4.1.2	Eigenschaften und Vorteile des Drehstromsystems .....	86
4.2	Generator und Verbraucher .....	88
4.2.1	Der Drehstromgenerator .....	88
4.2.2	Netzspannungen und Ströme .....	94
4.3	Leistungen im Drehstromsystem .....	104
4.3.1	Strangleistung .....	104
4.3.2	Systemleistung .....	106
4.3.3	Wirkleistungsmessung bei Drehstrom .....	107
4.3.4	Leistungsrichtungen und Zählpeile .....	109
4.4	Drehstromtransformatoren .....	112
4.4.1	Bauformen .....	112
4.4.2	Schaltungen und Schaltgruppen .....	114
4.4.3	Ersatzschaltbild und Daten .....	118
<b>5</b>	<b>Drehstrommaschinen</b> .....	<b>120</b>
5.1	Überblick .....	120

---

5.2 Die Drehstrom-Asynchronmaschine .....	121
5.2.1 Aufbau .....	121
5.2.2 Das magnetische Drehfeld der Ständerwicklung .....	123
5.2.3 Induzierte Spannungen .....	126
5.2.4 Betriebsverhalten bei Belastung .....	129
5.2.5 Ersatzschaltbild .....	131
5.2.6 Der vereinfachte Betriebskreis .....	134
5.2.7 Betriebsarten der Asynchronmaschine .....	141
5.3 Der Einphasen-Asynchronmotor .....	149
5.3.1 Anwendungen .....	149
5.3.2 Der Kondensatormotor .....	149
5.4 Die Drehstrom-Synchronmaschine .....	152
5.4.1 Erregung der Synchronmaschine .....	152
5.4.2 Das Betriebsverhalten der Synchronmaschine .....	154
<b>6 Schalten und Schützen elektrischer Anlagen .....</b>	<b>167</b>
6.1 Einteilung der Schaltgeräte .....	167
6.1.1 Schaltgeräte, Definitionen .....	167
6.1.2 Schalter, Definitionen .....	167
6.1.3 Niederspannungs-Schaltgeräte (DIN VDE 0660) .....	169
6.2 Schaltvorgänge .....	174
6.2.1 Anforderungen an einen Schalter .....	174
6.2.2 Schaltvorgänge bei Gleichstrom .....	175
6.2.3 Schaltvorgänge bei Wechselstrom .....	182
6.3 Überstromschutzeinrichtungen .....	185
6.3.1 Erwärmung eines Betriebsmittels, Belastungskennlinie .....	185
6.3.2 Kurzschlußerwärmung, Strombegrenzung .....	189
6.3.3 Sicherungen und Schutzschalter .....	190
<b>7 Schutzmaßnahmen gegen gefährliche Körperströme .....</b>	<b>198</b>
7.1 Wirkungen des elektrischen Stromes auf den Menschen .....	198
7.2 Schutzarten, Schutzmaßnahmen und Schutzklassen .....	200
7.3 Schutz gegen direktes Berühren (Basisschutz) .....	202
7.4 Schutz bei indirektem Berühren (Fehlerschutz) .....	203
7.4.1 Übersicht .....	203
7.4.2 Fehlerspannung, Berührungsspannung .....	204
7.4.3 Netzformen und Erdungen .....	206

7.4.4	Das TN-Netz .....	206
7.4.5	Das TT-Netz .....	209
7.4.6	Der Fehlerstrom-(FI)-Schutzschalter .....	210
7.4.7	Das IT-Netz .....	212
7.4.8	Netzunabhängige Schutzmaßnahmen .....	213
<b>8</b>	<b>Leistungselektronik</b> .....	<b>215</b>
8.1	Übersicht .....	215
8.2	Elektronische Ventile .....	219
8.2.1	Leistungs-Halbleiterdiode .....	219
8.2.2	Leistungs-Transistor .....	220
8.2.3	Thyristor .....	225
8.2.4	Beschaltung, Kühlung, Ansteuerung .....	227
8.3	Netzgeführte Gleich- und Wechselrichter .....	232
8.3.1	Zweipuls-Brückenschaltung (B2) .....	232
8.3.2	Drehstrom-Brückenschaltung (B6) .....	247
8.3.3	Wechselstromsteller und Drehstromsteller .....	253
8.4	Selbstgeführte Stromrichter .....	257
8.4.1	Selbst- und netzgeführte Stromrichter .....	257
8.4.2	Gleichstromsteller .....	257
8.4.3	Selbstgeführter Wechselrichter .....	262
8.4.4	Frequenzumrichter .....	265
<b>9</b>	<b>Stromerzeugungsanlagen</b> .....	<b>266</b>
9.1	Wärme- und Wasserkraftwerke .....	266
9.1.1	Generator und Kraftmaschine .....	266
9.1.2	Dampfkraftwerke .....	267
9.1.3	Gasturbinenkraftwerke .....	274
9.1.4	Gas- und Dampfturbinenkraftwerke .....	275
9.1.5	Blockheizkraftwerke .....	276
9.2	Wasserkraftwerke .....	278
9.2.1	Ausnutzung der Wasserenergie .....	278
9.2.2	Niederdruckkraftwerke .....	279
9.2.3	Hochdruckkraftwerke .....	281
9.2.4	Mitteldruckkraftwerke .....	282
9.2.5	Pumpspeicherwerke .....	282
9.3	Windkraftanlagen .....	284

---

9.3.1 Windkonverter .....	284
9.3.2 Windkraftgenerator .....	285
9.4 Photovoltaikanlagen .....	287
9.4.1 Grundlagen der Photovoltaik .....	287
9.4.2 Solarmodule und Wechselrichter .....	288
9.5 Kraftwerks- und Netzbetrieb .....	289
9.5.1 Frequenz und Wirkleistung .....	289
9.5.2 Spannung und Stromverteilung im Netz .....	293
Literaturverzeichnis .....	297
Sachwortverzeichnis .....	300