

Inhaltsverzeichnis

1	Grundbegriffe der Energietechnik	1
1.1	Grundeinheiten	1
1.2	Drehstromsysteme	5
1.2.1	Drehfeld	5
1.2.2	Symmetrischer Betrieb	9
1.2.3	Stern- und Dreieckschaltung	10
1.3	Bezogene Größen	13
1.3.1	Grundsysteme	13
1.3.2	per-unit-System	15
1.3.3	%/MVA-System	17
1.4	Transformationen	18
1.4.1	Diagonaltransformation	18
1.4.2	Transformationsmatrix	19
1.4.3	Symmetrische Komponenten	20
1.4.4	Diagonalkomponenten	27
1.4.5	Park-Komponenten	29
1.4.6	Raumzeiger	32
	Literatur	33
2	Elektrische Maschinen	35
2.1	Transformatoren	35
2.1.1	Aufbau eines Zweiwicklungstransformators	36
2.1.2	Drehstromtransformator	43
2.1.3	Dreiwicklungstransformatoren	49
2.1.4	Stufenstellung	50
2.1.5	Sonderbauformen	52
2.1.6	Schutz von Transformatoren	53
2.2	Drosselspulen	55
2.3	Kondensatoren und Filter	57

2.4	Messwandler	59
2.4.1	Spannungswandler	59
2.4.2	Stromwandler	61
2.5	Grundprinzipien der rotierenden elektrischen Maschinen	63
2.6	Gleichstrommaschine	65
2.6.1	Aufbau der Gleichstrommaschine	65
2.6.2	Modell der Gleichstrommaschine	69
2.6.3	Kennlinien der Gleichstrommaschine	73
2.6.4	Sonderbauformen der Gleichstrommaschine	75
2.6.5	Gleichstromantriebe	77
2.7	Synchronmaschinen	80
2.7.1	Aufbau der Synchronmaschine	81
2.7.2	Modell der Synchronmaschine	85
2.7.3	Synchronmaschine im stationären Bereich	90
2.7.4	Die Synchronmaschine im Kurzschluss	92
2.8	Asynchronmaschine	99
2.8.1	Stationäres Modell der Asynchronmaschine	100
2.8.2	Betriebsverhalten der Asynchronmaschine	102
2.8.3	Wechselstrommaschine	105
2.8.4	Feldorientierte Regelung	106
2.9	Sondermaschinen	111
2.9.1	Linearmotor	111
2.9.2	Reluktanzmotor	112
2.9.3	Schrittmotoren	113
2.9.4	Elektronikmaschine	114
	Literatur	115
3	Leistungselektronik	117
3.1	Grundlagen der Stromrichter	118
3.1.1	Grundfunktionen von Stromrichterschaltungen	118
3.1.2	Leistungshalbleiter	119
3.1.3	Eigenschaften von Stromrichterschaltungen	122
3.2	Stromrichter	123
3.2.1	Stromrichter mit Dioden	123
3.2.2	Stromrichter mit Thyristoren	128
3.2.3	Thyristorschaltungen mit Löscheinrichtung	141
3.2.4	Schaltungen mit abschaltbaren Halbleitern	143
3.3	Steuerteil und Zusatzeinrichtungen	152
3.3.1	Zündgerät	152
3.3.2	Ansteuerung der Halbleiterventile	155
3.3.3	Schutz	155
3.3.4	Kühlung	156
	Literatur	159

4 Leitungen	161
4.1 Beschreibung der Leitungen	161
4.1.1 Leitungswiderstand	162
4.1.2 Induktivitäten und Kopplungen	162
4.1.3 Ersatzschaltung für gekoppelte Leiter	165
4.1.4 Kapazitive Kopplung	168
4.1.5 Ersatzschaltung für kapazitiv gekoppelte Leiter	171
4.1.6 Leitungsersatzschaltung	172
4.1.7 Ersatzleiter	174
4.1.8 Mittlerer geometrischer Abstand	177
4.2 Fernleitungen	178
4.2.1 Leitungsgleichungen	178
4.2.2 Stationärer Betrieb	183
4.3 Bau von Freileitungen	185
4.4 Kabel	188
4.5 Beeinflussung und EMV	191
4.5.1 Ohmsche Beeinflussung	192
4.5.2 Induktive Beeinflussung	192
4.5.3 Kapazitive Beeinflussung	194
4.5.4 Kompensationsleiter	195
4.5.5 Erdungsanlagen	197
4.5.6 Hochfrequente Beeinflussung	198
4.5.7 Beeinflussung des Menschen	199
Literatur	202
5 Schaltanlagen	203
5.1 Primärtechnik	203
5.1.1 Aufbau von Schaltanlagen	203
5.1.2 Bauformen von Schaltanlagen	206
5.1.3 Schalter	209
5.1.4 Sammelschienen	216
5.1.5 Überspannungsableiter	217
5.2 Sekundärtechnik	218
5.2.1 Meldung	219
5.2.2 Steuerung	219
5.2.3 Messung	220
5.2.4 Zählung	221
5.2.5 Stationsleittechnik	222
5.3 Arbeiten in elektrischen Anlagen	225
Literatur	226
6 Hochspannungstechnik	227
6.1 Erzeugung hoher Spannungen	227
6.2 Hochspannungsmesstechnik	231

6.3	Hochspannungsprüftechnik	232
6.4	Hochspannungsfestigkeit	233
6.4.1	Gasförmige Isolierstoffe	234
6.4.2	Lichtbogen	238
6.4.3	Flüssige Isolierstoffe	240
6.4.4	Feste Isolierstoffe	241
6.5	Feldberechnung	242
6.6	Isolationskoordination	248
6.7	Blitzschutz	250
	Literatur	253
7	Energieerzeugung	255
7.1	Energiebedarf und Energievorräte	255
7.1.1	Energieverbrauch und Wirtschaftswachstum	256
7.1.2	Energiebedarf	258
7.1.3	Energiebereitstellung und Energievorräte	259
7.2	Elektrizitätswirtschaft	265
7.2.1	Energieversorgungsunternehmen	265
7.2.2	Verbundnetz	267
7.2.3	Strompreisgestaltung	272
7.2.4	Kraftwerkseinsatz	275
7.3	Wasserkraftwerke	278
7.3.1	Potentielle Energie des Wassers	279
7.3.2	Wasserkraftmaschinen	280
7.4	Fossile Kraftwerke	285
7.4.1	Verbrennungsprozess	285
7.4.2	Kesselanlage	287
7.4.3	Dampfprozess	289
7.4.4	Dampfturbinen	290
7.4.5	Kraft-Wärme-Kopplung	291
7.4.6	Gasturbinen-Kraftwerk	294
7.5	Kernkraftwerke	296
7.5.1	Kernphysikalische Grundlagen	296
7.5.2	Leichtwasserreaktoren	297
7.5.3	Reaktorsicherheit	298
7.5.4	Hochtemperaturreaktor	303
7.5.5	Schwerwasserreaktor	303
7.5.6	Schneller Brutreaktor	303
7.5.7	Fusionsreaktor	304
7.5.8	Radioaktivität	304
7.5.9	Kernkraftdiskussion	306

7.6	Regenerative Energieerzeugung	308
7.6.1	Wasserkraftwerke	309
7.6.2	Gezeitenkraftwerke	309
7.6.3	Meereswellen und Meereswärme	310
7.6.4	Windkraft	310
7.6.5	Solarenergie	316
7.6.6	Biomasse	320
7.6.7	Geothermische Kraftwerke	320
7.6.8	Wasserstofftechnologie	322
7.6.9	Perpetuum Mobile	323
7.7	Netzregelung	324
7.8	Rationelle Energieanwendung	328
7.9	Technikfolgenabschätzung	332
7.9.1	Einführung neuer Techniken	336
7.9.2	Arbeitsplätze	337
7.9.3	CO ₂ -Problematik	337
7.9.4	Kyoto-Protokoll	339
7.9.5	Emissionsrechtehandel	339
7.9.6	Ethikkommissionen	340
	Literatur	340
8	Energieversorgungsnetze	343
8.1	Netzformen	344
8.2	Sternpunktbehandlung	345
8.2.1	Netze mit niederohmigen Sternpunkterdungen	346
8.2.2	Netze mit isolierten Sternpunkten	348
8.2.3	Netze mit Erdschlusslöschung	350
8.3	Netzberechnung	351
8.3.1	Lastfluss	351
8.3.2	Kurzschlussstromberechnung	364
8.3.3	Unsymmetrische Fehler	368
8.3.4	Zuverlässigkeitsberechnung	373
8.4	Netzurückwirkungen	376
8.4.1	Qualitätsmerkmale der Spannung	376
8.4.2	Netzlast	378
8.4.3	Oberschwingungen	379
8.4.4	Unsymmetrische Lasten	380
8.4.5	Spannungsschwankungen	381
8.5	Dynamisches Verhalten von Netzen	384
8.5.1	Elektromagnetische Ausgleichsvorgänge	386
8.5.2	Elektromechanische Ausgleichsvorgänge	394

8.6	Netzplanung	403
8.6.1	Grundsätzliche Vorgehensweise	403
8.6.2	Netzausbau	404
8.6.3	Investitionskostenrechnung	405
8.6.4	Niederspannungsnetze	407
8.7	Netzbetrieb	411
8.7.1	Netzleittechnik	411
8.7.2	State Estimation	414
8.7.3	Ersatznetze	416
8.7.4	Netzsicherheitsrechnung	417
8.8	Netzschutz	418
8.8.1	Aufbau der Schutzeinrichtung	418
8.8.2	Überstromschutz	420
8.8.3	Distanzschutz	421
8.8.4	Differenzialschutz	426
8.8.5	Frequenzschutz	429
8.8.6	Erdschlussschutz	429
8.8.7	Überlastschutz	430
	Literatur	432
9	Energieanwendung	435
9.1	Traktion	435
9.1.1	Elektrolokomotiven	436
9.1.2	Straßenbahnen	439
9.1.3	Elektroauto	440
9.1.4	Elektromobilität	441
9.2	Beleuchtungstechnik	442
9.2.1	Grundlagen	443
9.2.2	Lampen	445
9.2.3	Vorschaltgeräte	448
9.3	Elektrowärme	450
9.3.1	Widerstandserwärmung	450
9.3.2	Induktive Erwärmung	453
9.3.3	Lichtbogenerwärmung	456
	Literatur	458
	Symbole	461
	Sachwortverzeichnis	467