

Inhaltsverzeichnis

1	Grundbegriffe der Energietechnik	1
1.1	Grundeinheiten	1
1.2	Drehstromsysteme	5
1.2.1	Drehfeld	6
1.2.2	Symmetrischer Betrieb	10
1.2.3	Stern- und Dreieckschaltung	11
1.3	Bezogene Größen	15
1.3.1	Grundsysteme	15
1.3.2	per-unit-System	17
1.3.3	%/MVA-System	20
1.4	Transformationen	20
1.4.1	Diagonaltransformation	21
1.4.2	Transformationsmatrix	22
1.4.3	Symmetrische Komponenten	23
1.4.4	Diagonalkomponenten	30
1.4.5	Park-Komponenten	33
1.4.6	Raumzeiger	36
	Literatur	37
2	Elektrische Maschinen	39
2.1	Transformatoren	40
2.1.1	Aufbau eines Zwe Wicklungstransformators	41
2.1.2	Drehstromtransformator	48
2.1.3	Dre Wicklungstransformatoren	53
2.1.4	Stufenstellung	55
2.1.5	Sonderbauformen	56
2.1.6	Schutz von Transformatoren	58
2.2	Drosselspulen	61
2.3	Kondensatoren und Filter	62
2.4	Messwandler	63

2.4.1	Spannungswandler	64
2.4.2	Stromwandler	66
2.5	Grundprinzipien der rotierenden elektrischen Maschinen	67
2.6	Gleichstrommaschinen	69
2.6.1	Aufbau der Gleichstrommaschine	70
2.6.2	Modell der Gleichstrommaschine	74
2.6.3	Kennlinien der Gleichstrommaschine	78
2.6.4	Sonderbauformen der Gleichstrommaschine	82
2.6.5	Gleichstromantriebe	83
2.7	Synchronmaschinen	86
2.7.1	Aufbau der Synchronmaschine	87
2.7.2	Modell der Synchronmaschine	92
2.7.3	Synchronmaschine im stationären Betrieb	96
2.7.4	Die Synchronmaschine im Kurzschluss	99
2.8	Asynchronmaschine	105
2.8.1	Stationäres Modell der Asynchronmaschine	107
2.8.2	Betriebsverhalten der Asynchronmaschine	109
2.8.3	Wechselstrommaschine	113
2.8.4	Feldorientierte Regelung	114
2.9	Sondermaschinen	118
2.9.1	Linearmotor	118
2.9.2	Reluktanzmotor	120
2.9.3	Schrittmotoren	120
2.9.4	Elektronikmaschine	122
2.10	Traktion	123
2.10.1	Elektrolokomotiven	123
2.10.2	Straßenbahnen	128
2.10.3	Elektroauto	129
2.10.4	Elektromobilität	131
	Literatur	135
3	Leistungselektronik	137
3.1	Grundlagen der Stromrichter	138
3.1.1	Grundfunktionen von Stromrichterschaltungen	138
3.1.2	Leistungshalbleiter	139
3.1.3	Eigenschaften von Stromrichterschaltungen	143
3.2	Stromrichter	144
3.2.1	Stromrichter mit Dioden	144
3.2.2	Stromrichter mit Thyristoren	149
3.2.3	Thyristorschaltungen mit Löscheinrichtung	161
3.2.4	Schaltungen mit abschaltbaren Halbleitern	165
3.3	Steuerteil und Zusatzeinrichtungen	175

3.3.1	Zündgerät	175
3.3.2	Ansteuerung der Halbleiterventile	177
3.3.3	Schutz	178
3.3.4	Kühlung	179
	Literatur	183
4	Leitungen	185
4.1	Beschreibung der Leitungen	185
4.1.1	Leitungswiderstand	186
4.1.2	Induktivitäten und Kopplungen	186
4.1.3	Ersatzschaltung für gekoppelte Leiter	189
4.1.4	Kapazitive Kopplung	193
4.1.5	Ersatzschaltung für kapazitiv gekoppelte Leiter	195
4.1.6	Leitungsersatzschaltung	196
4.1.7	Ersatzleiter	199
4.1.8	Mittlerer geometrischer Abstand	202
4.2	Freileitungen	203
4.2.1	Leitungsgleichungen	203
4.2.2	Stationärer Betrieb	207
4.2.3	Bau von Freileitungen	210
4.3	Kabel	213
4.4	Beeinflussung und EMV	217
4.4.1	Ohmsche Beeinflussung	218
4.4.2	Induktive Beeinflussung	218
4.4.3	Kapazitive Beeinflussung	220
4.4.4	Kompensationsleiter	220
4.4.5	Erdungsanlagen	223
4.4.6	Hochfrequente Beeinflussung	224
4.4.7	Beeinflussung des Menschen	225
	Literatur	228
5	Schaltanlagen	229
5.1	Primärtechnik	229
5.1.1	Aufbau von Schaltanlagen	229
5.1.2	Bauformen von Schaltanlagen	232
5.1.3	Schalter	235
5.1.4	Sammelschienen	242
5.1.5	Überspannungsableiter	243
5.2	Sekundärtechnik	244
5.2.1	Meldung	245
5.2.2	Steuerung	245
5.2.3	Messung	246
5.2.4	Zählung	247

5.2.5	Stationsleittechnik	248
5.3	Arbeiten in elektrischen Anlagen	252
	Literatur	252
6	Hochspannungstechnik	255
6.1	Erzeugung hoher Spannungen	256
6.2	Hochspannungsmesstechnik	258
6.3	Hochspannungsprüftechnik	260
6.4	Hochspannungsfestigkeit	262
6.4.1	Gasförmige Isolierstoffe	262
6.4.2	Lichtbogen	267
6.4.3	Flüssige Isolierstoffe	270
6.4.4	Feste Isolierstoffe	270
6.5	Feldberechnung	272
6.6	Isulationskoordination	278
6.7	Blitzschutz	279
	Literatur	283
7	Energieumwandlung	285
7.1	Energiebasis, Energiebereitstellung und Energiebedarf	286
7.1.1	Energiebasis und Energiebereitstellung	288
7.1.2	Energiebedarf und Wirtschaftswachstum	296
7.2	Elektrizitätswirtschaft	298
7.2.1	Energieversorgungsunternehmen	298
7.2.2	Verbundnetz	301
7.2.3	Strompreisgestaltung	308
7.2.4	Kraftwerkseinsatz	311
7.3	Wasserkraftwerke	315
7.3.1	Potentielle Energie des Wassers	315
7.3.2	Wasserkraftmaschinen	317
7.4	Fossile Kraftwerke	322
7.4.1	Verbrennungsprozess	322
7.4.2	Kesselanlage	325
7.4.3	Dampfprozess	326
7.4.4	Dampfturbinen	328
7.4.5	Kraft-Wärme-Kopplung	329
7.4.6	Gasturbinen-Kraftwerk	333
7.5	Kernkraftwerke	335
7.5.1	Kernphysikalische Grundlagen	336
7.5.2	Leichtwasserreaktoren	336
7.5.3	Reaktorsicherheit	337
7.5.4	Hochtemperaturreaktor	342
7.5.5	Schwerwasserreaktor	343

7.5.6	Schneller Brutreaktor	343
7.5.7	Fusionsreaktor	344
7.5.8	Radioaktivität	344
7.5.9	Kernkraftdiskussion	346
7.6	Regenerative Energieumwandlung	349
7.6.1	Wasserkraftwerke	349
7.6.2	Gezeitenkraftwerke	350
7.6.3	Wellenkraftwerke	351
7.6.4	Windkraftwerke	351
7.6.5	Solarenergie	357
7.6.6	Biomasse	361
7.6.7	Geothermische Kraftwerke	362
7.6.8	Wasserstofftechnologie	364
7.6.9	Perpetuum Mobile	365
7.7	Netzregelung	366
7.8	Rationelle Energieanwendung	371
7.9	Technikfolgenabschätzung	375
7.9.1	Einführung neuer Techniken	380
7.9.2	Arbeitsplätze	381
7.9.3	CO ₂ -Problematik	382
7.9.4	Kyoto-Protokoll	383
7.9.5	Emissionsrechtehandel	384
7.9.6	Ethikkommission	385
	Literatur	386
8	Energieversorgungsnetze	389
8.1	Netzformen	390
8.2	Sternpunktbehandlung	392
8.2.1	Netze mit niederohmiger Sternpunkterdung	392
8.2.2	Netze mit isolierten Sternpunkten	395
8.2.3	Netze mit Erdschlusslöschung	396
8.3	Netzberechnung	398
8.3.1	Lastfluss	398
8.3.2	Kurzschlussstromberechnung	411
8.3.3	Unsymmetrische Fehler	416
8.3.4	Zuverlässigkeitsberechnung	421
8.4	Netzurückwirkungen	424
8.4.1	Qualitätsmerkmale der Spannung	424
8.4.2	Netzllast	426
8.4.3	Oberschwingungen	427
8.4.4	Unsymmetrische Lasten	428
8.4.5	Spannungsschwankungen	429

8.5	Dynamisches Verhalten von Netzen	433
8.5.1	Elektromagnetische Ausgleichsvorgänge	434
8.5.2	Elektromechanische Ausgleichsvorgänge	443
8.6	Netzplanung	451
8.6.1	Grundsätzliche Vorgehensweise	452
8.6.2	Netzausbau	453
8.6.3	Investitionskostenrechnung	455
8.6.4	Niederspannungsnetze	456
8.7	Netzbetrieb	461
8.7.1	Netzleittechnik	461
8.7.2	Smart Grid	465
8.7.3	State Estimation	466
8.7.4	Ersatznetze	468
8.7.5	Netzsicherheitsrechnung	469
8.8	Netzschutz	470
8.8.1	Aufbau der Schutzeinrichtung	471
8.8.2	Überstromschutz	472
8.8.3	Distanzschutz	474
8.8.4	Differenzialschutz	479
8.8.5	Frequenzschutz	482
8.8.6	Erdschlusschutz	483
8.8.7	Überlastschutz	484
8.8.8	Prüfen von sekundärtechnischen Komponenten	486
	Literatur	491
	Symbole	493
	Stichwortverzeichnis	499