

# Inhaltsverzeichnis

		Seite
<b>1 Grundlagen</b>		
1.1	Magnetisches Feld	9
1.2	Bewegte Leiterschleife im Magnetfeld	14
1.3	Ruhende Leiterschleife im magnetischen Wechselfeld	17
1.4	Stromdurchflossene Leiterschleife im Magnetfeld	18
1.5	Bauelemente der Leistungselektronik	21
1.5.1	Dioden	22
1.5.2	Transistoren	24
1.5.2.1	Bipolarer Transistor	25
1.5.2.2	Feldeffekttransistor (Unipolartransistor)	27
1.5.3	Thyristoren	31
1.5.3.1	Symmetrisch sperrender Thyristor (SCR)	33
1.5.3.2	Weitere Thyristorarten	40
1.5.3.3	Steuersätze	42
1.6	Grundsaltungen der Leistungselektronik	46
1.6.1	Netzgeführte Stromrichter	47
1.6.1.1	Einpuls-Mittelpunktschaltung M1	47
1.6.1.2	Zweipuls-Mittelpunktschaltung M2	61
1.6.1.3	Dreipuls-Mittelpunktschaltung M3	62
1.6.1.4	Vollgesteuerte Brückenschaltungen	69
1.6.1.5	Halbgesteuerte Brückenschaltungen	72
1.6.2	Netzgeführte Wechselrichter	77
1.6.3	Halbleiterschalter und -steller für Wechsel- und Drehstrom	80
1.6.3.1	Halbleiterschalter für Wechselstrom	80
1.6.3.2	Halbleitersteller für Wechselstrom	82
1.6.3.3	Halbleiterschalter für Drehstrom	83
1.6.3.4	Halbleitersteller für Drehstrom	84
1.6.4	Selbstgeführte Stromrichter	85
1.6.4.1	Gleichstromschalter	86
1.6.4.2	Gleichstromsteller (Chopper)	88
1.6.4.3	Selbstgeführte Wechselrichter	90
<b>2 Gleichstrommaschinen</b>		
2.1	Spannungserzeugung	98
2.2	Drehmomenterzeugung	100
2.3	Generatorbetrieb und Motorbetrieb	103
2.4	Aufbau der Gleichstrommaschinen	106
2.4.1	Stator	106
2.4.2	Rotor	107
2.5	Magnetische Felder	109
2.5.1	Hauptfeld	109
2.5.2	Ankerfeld	110
2.5.3	Gesamtfeld (Resultierendes Feld)	110
2.6	Ankerrückwirkung	111
2.6.1	Entstehung	111
2.6.2	Beseitigung	112
2.7	Stromwendung (Kommutierung)	114
2.7.1	Ursachen des Bürstenfunken	114

<b>2 Gleichstrommaschinen,</b>	2.7.2	Stegspannung (Lamellenspannung)	116
<b>Fortsetzung</b>	2.8	Betriebseigenschaften	116
	2.8.1	Generatoren	116
	2.8.2	Motoren	124
	2.8.3	Anlaßvorgang	134
	2.9	Elektrische Bremsung	139
	2.9.1	Senkbremsung	139
	2.9.2	Nachlaufbremsung	143
	2.10	Drehzahlsteuerung	146
	2.10.1	Ankerspannungssteuerung	147
	2.10.2	Feldsteuerung	148
	2.10.3	Betrieb am Wechselstromnetz	151
	2.10.3.1	Einquadrantenbetrieb (1-Q-Betrieb)	152
	2.10.3.2	Zweiquadrantenbetrieb (2-Q-Betrieb)	156
	2.10.3.3	Vierquadrantenbetrieb (4-Q-Betrieb)	156
	2.10.4	Betrieb am Gleichstromnetz	159
	2.11	Verluste – Wirkungsgrad	161
	2.11.1	Verlustarten	161
	2.11.2	Wirkungsgrad	162
	2.12	Gleichstrom-Ankerwicklungen	165
	2.12.1	Ringwicklung	165
	2.12.2	Trommelwicklung	166
	2.12.3	Umschalten bzw. Umwickeln einer Maschine	175
<b>3 Transformatoren</b>	3.1	Aufgaben und Arten	179
	3.2	Einphasentransformator	181
	3.2.1	Wirkungsweise des idealen Transformators	182
	3.2.2	Grundgleichungen	184
	3.2.2.1	Spannungsübersetzung	184
	3.2.2.2	Stromübersetzung	185
	3.2.2.3	Widerstandstransformation	186
	3.2.2.4	Transformatoren-Hauptgleichung	186
	3.3	Betriebsverhalten	187
	3.3.1	Ersatzschaltung des realen Transformators	187
	3.3.2	Leerlaufbetrieb	190
	3.3.3	Lastbetriebsverhalten	194
	3.3.4	Spannungsverhalten bei normaler Belastung	199
	3.4	Parallelschaltung von Transformatoren	201
	3.5	Energieumsatz im Transformator	204
	3.5.1	Verluste	204
	3.5.2	Vollastwirkungsgrad/Nennlastwirkungsgrad	206
	3.5.3	Jahreswirkungsgrad	207
	3.6	Drehstromtransformator	209
	3.6.1	Transformatorenbank	209
	3.6.2	Konstruktive Vereinigung von drei Einphasentransformatoren zu einem Drehstromtransformator	210
	3.6.3	Schaltgruppen	212
	3.6.4	Betriebsverhalten von Drehstromtransformatoren bestimmter Schaltungskombinationen unter einphasiger oder extrem unsymmetrischer Belastung	213

			Seite
<b>3 Transformatoren,</b>	3.7	Besondere Ausführungsformen	
<b>Fortsetzung</b>		des Transformators	217
	3.7.1	Spartransformator	217
	3.7.2	Stelltransformator	220
	3.7.3	Transformatoren für Meßzwecke	221
	3.8	Konstruktive und technologische Gestaltung	
		der aktiven Transformatorbauteile	222
	3.8.1	Anordnung der aktiven Bauteile	222
	3.8.2	Werkstoffe und Aufbau des Eisenkerns	223
	3.8.3	Blechschnitte und konstruktive	
		Zusammenfassung der Kernbleche	224
	3.8.4	Wicklungen	226
	3.8.5	Äußere Gestaltung	230
	3.9	Transformatorenschutz	231
	3.9.1	Innere Fehler	231
	3.9.2	Schutzeinrichtungen	231
<b>4 Wechselstrom-</b>	4.1	Grundlagen der Drehstromwicklungen	234
<b>maschinen</b>	4.2	Wicklungsfaktoren	235
	4.2.1	Verteilte Wicklung – Zonenfaktor	235
	4.2.2	Gesehnte Wicklung – Sehnungsfaktor	237
	4.2.3	Bedeutung der Wicklungsfaktoren	239
	4.3	Magnetische Felder	241
	4.3.1	Felderregerkurve und Feldkurve	241
	4.3.1.1	Konzentrierte Wicklung	242
	4.3.1.2	Verteilte Wicklung	243
	4.3.2	Nutzfluß und Streufluß	244
	4.3.3	Drehfelder	244
	4.4	Entwurf von Wechselstromwicklungen	249
	4.4.1	Einschicht-Ganzlochwicklungen	250
	4.4.2	Zweischicht-Ganzlochwicklungen	256
	4.4.3	Einschicht-Bruchlochwicklungen	259
	4.4.4	Zweischicht-Bruchlochwicklungen	263
	4.4.5	Polumschaltbare Wicklungen (Dahlander)	264
	4.4.6	Polumschaltbare Sonderwicklungen	270
	4.4.7	Umwickeln von Maschinenwicklungen	271
	4.5	Drehstrom-Asynchronmaschine	276
	4.5.1	Aufbau	277
	4.5.2	Wirkungsweise	278
	4.5.3	Läuferfrequenz und Läuferspannung	283
	4.5.4	Ersatzschaltung und Zeigerdiagramm	284
	4.5.5	Leistungsaufteilung	287
	4.5.6	Drehmoment	289
	4.5.7	Stromaufnahme	295
	4.5.8	Kreisdiagramm	296
	4.5.8.1	Leerlauf und Kurzschlußversuch	297
	4.5.8.2	Auswertung	298
	4.5.8.3	Bedeutung des Kreisdiagramms	302
	4.5.9	Belastungskennlinien	303

<b>4 Wechselstrom- maschinen, Fortsetzung</b>	4.5.10	Anlauf und Anlassen	305
	4.5.10.1	Hochlaufvorgang	305
	4.5.10.2	Anlaufstrom	307
	4.5.10.3	Schleifringläufer mit Anlaßwiderständen	308
	4.5.10.4	Stromverdrängungsläufer	311
	4.5.10.5	Stern-Dreieck-Anlaufschaltung	312
	4.5.10.6	Weitere Anlaßverfahren	314
	4.5.11	Drehzahlsteuerung	317
	4.5.11.1	Steuerungsmöglichkeiten	317
	4.5.11.2	Ändern der Ständerspannung	318
	4.5.11.3	Schlupfwiderstände	320
	4.5.11.4	Läufergegenspannung	321
	4.5.11.5	Frequenzverstellung	322
	4.5.11.6	Statische Frequenzumrichter	323
	4.5.11.7	Polumschaltung	329
	4.5.12	Bremsen	331
	4.6	Einphasen-Asynchronmotoren	335
	4.6.1	Einsträngiger Motor – Anwurfmotor	335
	4.6.2	Zweisträngiger Motor	337
	4.6.2.1	Zweiphasiger Anschluß	337
	4.6.2.2	Einphasiger Anschluß	339
	4.6.2.3	Kondensatormotor	340
	4.6.2.4	Einphasenmotor mit Widerstandshilfsphase	342
	4.6.2.5	Spaltnotor	343
	4.6.3	Drehstrommotor im Einphasenbetrieb	344
	4.7	Synchronmaschinen	346
	4.7.1	Aufbau und Arten	346
	4.7.1.1	Außenpolmaschine	348
	4.7.1.2	Innenpolmaschine	348
	4.7.2	Erregung	351
	4.7.3	Wirkungsweise	352
	4.7.3.1	Leerlauf	352
	4.7.3.2	Belastung	353
	4.7.3.3	Ersatzschaltung und Zeigerdiagramm	354
	4.7.3.4	Kurzschluß	356
	4.7.3.5	Drehmoment	358
	4.7.4	Generatorbetrieb	360
	4.7.4.1	Inselbetrieb	360
	4.7.4.2	Parallelbetrieb	361
	4.7.5	Motorbetrieb	362
	4.7.5.1	Betriebsverhalten	362
	4.7.5.2	Mechanische Pendelungen	364
	4.7.5.3	Anlauf	364
	4.7.6	Drehzahlsteuerung	365
	4.7.7	Besonderheiten der Schenkelpolmaschine	366
<b>5 Weitere Maschinen- arten</b>	5.1	Gleichstrom-Querfeldmaschinen	368
	5.2	Transformatoren	368
	5.2.1	Streufeldtransformator	368
	5.2.2	Stromrichtertransformator (SRT)	370

			Seite
<b>5 Weitere Maschinen-</b>	5.3	Wechselstrommaschinen	375
<b>arten,</b>	5.4	Servomotoren	381
<b>Fortsetzung</b>	5.4.1	Bauarten	382
	5.4.2	Erregerkreiswerkstoffe	382
	5.4.3	Motorkenndaten	383
	5.4.4	Gleichstrom-Scheibenläufermotor	388
	5.4.4.1	Aufbau und Wirkungsweise	388
	5.4.4.2	Betriebsverhalten	389
	5.4.5	Gleichstrom-Langläufermotor	390
	5.4.5.1	Aufbau und Wirkungsweise	390
	5.4.5.2	Betriebsverhalten	390
	5.4.6	Bürstenloser Gleichstrom-Servomotor	391
	5.4.7	Drehstrom-Servomotoren	393
	5.5	Schrittmotoren	395
	5.5.1	Aufbau, Bauarten und Wirkungsweise	396
	5.5.2	Ansteuerungsarten/Betriebsarten	397
	5.5.3	Schrittarten	399
	5.5.4	Steuerlogik	401
	5.5.5	Treiberstufen	401
	5.5.6	Betriebsverhalten	402
	5.5.7	Zusammenfassung und Erläuterungen	404
	5.6	Umformer	404
<b>6 Prüfen der Maschinen</b>	6.1	Elektrische Prüfung	408
	6.1.1	Körperschluß	408
	6.1.2	Windungsschluß	413
	6.1.3	Unterbrechung	414
	6.2	Erwärmungsprüfung	416
	6.3	Stromüberlastbarkeit von Generatoren und Transformatoren und Drehmomentüberlastbarkeit von Motoren	419
	6.4	Mechanische Prüfung	420
	6.5	Störungen und Fehlersuche im Betrieb	421
<b>7 Normung der Maschinen</b>	7.1	Übersicht über die einschlägigen Normen elektrischer Maschinen	427
	7.2	Bauformen und Baugrößen	427
	7.3	Schutzarten	432
	7.4	Betriebsarten	433
	7.5	Erwärmung – Isolierstoffklassen	438
	7.6	Kühlung	439
	7.7	Nennspannungen	441
	7.8	Leistungsschildangaben	442
	7.9	Anschlußbezeichnungen und Drehsinn umlaufender elektrischer Maschinen	443
<b>Bildquellenverzeichnis</b>			444
<b>Anhang</b>			445
<b>Sachwortverzeichnis</b>			447