

Inhaltsverzeichnis

Seite

1 Grundlagen	1.1	Magnetisches Feld	9
	1.2	Bewegte Leiterschleife im Magnetfeld	12
	1.3	Ruhende Leiterschleife im magnetischen Wechselfeld.	15
	1.4	Stromdurchflossene Leiterschleife im Magnetfeld	16
	1.5	Grundlagen der Antriebstechnik.	18
	1.5.1	Drehmomenterzeugung in Elektromotoren.	19
	1.5.2	Gleichungen zur Antriebsberechnung	19
	1.5.3	Antriebsquadranten	28
	1.6	Bauelemente der Leistungselektronik	31
	1.6.1	Dioden	35
	1.6.2	Transistoren.	37
	1.6.2.1	Bipolare Transistoren, BP.	37
	1.6.2.2	Unipolartransistoren, MOSFET.	39
	1.6.2.3	Insulated Gate Bipolar Transistor, IGBT	42
	1.6.3	Thyristoren	46
	1.6.3.1	Symmetrisch sperrender Thyristor (SCR)	47
	1.6.3.2	Weitere Thyristorarten	52
	1.7	Grundschaltungen der Leistungselektronik	55
	1.7.1	Netzgeführte Stromrichter.	56
	1.7.1.1	Einpuls-Mittelpunktschaltung M1.	56
	1.7.1.2	Zweipuls-Mittelpunktschaltung M2	70
	1.7.1.3	Dreipuls-Mittelpunktschaltung M3.	70
	1.7.1.4	Vollgesteuerte Brückenschaltungen.	74
	1.7.1.5	Zwölfpuls-Brückenschaltungen	77
	1.7.1.6	Halbgesteuerte Brückenschaltungen.	78
	1.7.2	Netzgeführte Wechselrichter.	80
	1.7.3	Berechnung netzgeführter Schaltungen	83
	1.7.4	Wechselstrom- u. Drehstromsteller	88
	1.7.4.1	Wechselstromsteller.	88
	1.7.4.2	Drehstromsteller.	90
	1.7.5	Selbstgeführte Stromrichter	91
	1.7.5.1	Gleichstromsteller (Chopper)	91
	1.7.5.2	Selbstgeführte Wechselrichter	99
	1.7.5.3	Grundlagen der Frequenzumrichter	102
	1.7.5.4	Modulation der Ausgangsspannung	106
	1.7.5.5	Steuerung/Regelung der Ausgangsspannung	110
	1.7.5.6	Netzrückwirkungen von Frequenzumrichtern.	113
2 Gleichstrommaschinen	2.1	Aufbau der Gleichstrommaschine.	117
	2.1.1	Stator – Ständer	118
	2.1.2	Rotor – Anker.	119
	2.2	Schaltungen der Gleichstrommaschinen	121
	2.3	Spannungserzeugung	122
	2.4	Drehmomenterzeugung und Leistungsumsatz.	127
	2.5	Generatorbetrieb und Motorbetrieb.	128
	2.6	Magnetische Felder	131
	2.6.1	Hauptfeld	131
	2.6.2	Ankerfeld	131
	2.6.3	Gesamtfeld (Resultierendes Feld)	132
	2.7	Ankerrückwirkung.	132
	2.7.1	Entstehung.	132
	2.7.2	Reduzierung der Ankerrückwicklung	133
	2.8	Stromwendung (Kommutierung)	134

	Seite
2 Gleichstrommaschinen	134
Fortsetzung	
2.8.1 Ursachen des Bürstenfeuers	134
2.8.2 Stegspannung (Lamellenspannung)	136
2.9 Motoren	137
2.9.1 Nebenschlussmotor und fremderregter Motor	137
2.9.2 Reihenschlussmotor (Hauptschlussmotor)	141
2.9.3 Doppelschlussmotor	142
2.10 Anlassvorgang	143
2.11 Elektrische Bremsung	146
2.11.1 Senkreibrungsung	146
2.11.2 Nachlaufbremsung	149
2.12 Drehzahlsteuerung	151
2.12.1 Ankerstellbereich	151
2.12.2 Feldstellbereich	153
2.12.3 Betrieb am Wechselstromnetz	155
2.12.3.1 Einquadrantenbetrieb (1-Q-Betrieb)	156
2.12.3.2 Zweiquadrantenbetrieb (2-Q-Betrieb)	159
2.12.3.3 Vierquadrantenbetrieb (4-Q-Betrieb)	160
2.12.4 Betrieb am Gleichstromnetz	162
2.13 Verluste und Wirkungsgrad	163
2.13.1 Verlustarten	163
2.13.2 Wirkungsgrad	164
2.14 Gleichstrom-Ankerwicklungen	167
2.14.1 Ringwicklung	167
2.14.2 Trommelwicklung	168
2.14.3 Umschalten bzw. Umwickeln einer Maschine	175
3 Transformatoren	179
3.1 Aufgaben und Arten	181
3.2 Einphasentransformator	181
3.2.1 Wirkungsweise des idealen Transformators	181
3.2.2 Grundgleichungen	183
3.2.2.1 Spannungsübersetzung	183
3.2.2.2 Stromübersetzung	183
3.2.2.3 Widerstandstransformation	184
3.2.2.4 Transformatoren-Hauptgleichung	184
3.3 Betriebsverhalten	185
3.3.1 Ersatzschaltung des realen Transformators	185
3.3.2 Leerlaufbetrieb	186
3.3.3 Lastbetriebsverhalten	190
3.3.4 Spannungsverhalten bei normaler Belastung	193
3.4 Parallelschaltung von Transformatoren	194
3.5 Energieumsatz im Transformator	197
3.5.1 Verluste	197
3.5.2 Volllastwirkungsgrad/Bemessungslastwirkungsgrad	198
3.5.3 Jahreswirkungsgrad	199
3.6 Drehstromtransformator	202
3.6.1 Transformatorenbank	202
3.6.2 Konstruktive Vereinigung von drei Einphasen- transformatoren zu einem Drehstromtransformator	203
3.6.3 Schaltgruppen	205
3.6.4 Betriebsverhalten von Drehstromtransformatoren unter einphasiger oder extrem unsymmetrischer Belastung	206
3.7 Besondere Ausführungsformen des Transformators	211
3.7.1 Spartransformator	211
3.7.2 Stelltransformator	213
3.7.3 Transformatoren für Messzwecke	214

3 Transformatoren	3.8	Konstruktive und technologische Gestaltung der aktiven Transformatorbauteile	217
Fortsetzung	3.8.1	Anordnung der aktiven Bauteile	217
	3.8.2	Werkstoffe und Aufbau des Eisenkerns	218
	3.8.3	Blechschnitte und konstruktive Zusammenfassung der Kernbleche	219
	3.8.4	Wicklungen	221
	3.8.5	Äußere Gestaltung	224
	3.9	Transformatorenenschutz	226
	3.9.1	Innere Fehler	226
	3.9.2	Schutzeinrichtungen	226
4 Wechselstrommaschinen	4.1	Grundlagen der Drehstromwicklungen	230
	4.2	Wicklungsfaktoren	231
	4.2.1	Verteilte Wicklung – Zonenfaktor	231
	4.2.2	Gesehnte Wicklung – Sehnungsfaktor	232
	4.2.3	Bedeutung der Wicklungsfaktoren	234
	4.3	Magnetische Felder	235
	4.3.1	Felderregerkurve und Feldkurve	235
	4.3.1.1	Konzentrierte Wicklung	236
	4.3.1.2	Verteilte Wicklung	237
	4.3.2	Nutzfluss und Streufluss	238
	4.3.3	Drehfelder	238
	4.4	Entwurf von Wechselstromwicklungen	242
	4.4.1	Einschicht-Ganzlochwicklungen	242
	4.4.2	Zweischicht-Ganzlochwicklungen	247
	4.4.3	Einschicht-Bruchlochwicklungen	251
	4.4.4	Zweischicht-Bruchlochwicklungen	254
	4.4.5	Polumschaltbare Wicklungen (Dahlander)	255
	4.4.6	Polumschaltbare Sonderwicklungen	260
	4.4.7	Einphasenwicklungen	260
	4.4.8	Umwickeln von Maschinenwicklungen	261
	4.5	Drehstrom-Asynchronmaschine	266
	4.5.1	Aufbau	266
	4.5.2	Wirkungsweise	267
	4.5.3	Läuferfrequenz und Läuferspannung	271
	4.5.4	Leistungsaufteilung	272
	4.5.5	Ersatzschaltung und Zeigerdiagramm	275
	4.5.6	Drehmoment	278
	4.5.7	Stromaufnahme	281
	4.5.8	Kreisdiagramm	284
	4.5.8.1	Leerlauf und Kurzschlussversuch	285
	4.5.8.2	Auswertung	286
	4.5.8.3	Bedeutung des Kreisdiagramms	289
	4.5.9	Belastungskennlinien	290
	4.5.10	Anlauf und Anlassen	292
	4.5.10.1	Hochlaufvorgang	292
	4.5.10.2	Anlaufstrom	293
	4.5.10.3	Schleifringläufer mit Anlasswiderständen	294
	4.5.10.4	Stromverdrängungsläufer	297
	4.5.10.5	Stern-Dreieck-Anlaufschaltung	298
	4.5.10.6	Sanftanlasser mit Drehstromsteller	301
	4.5.10.7	Anlasstransformator	302
	4.5.10.8	Weitere Anlassverfahren	302
	4.5.11	Drehzahlsteuerung	303
	4.5.11.1	Steuerungsmöglichkeiten	303

		Seite
4 Wechselstrommaschinen	4.5.11.2 Ändern der Ständerspannung	304
Fortsetzung	4.5.11.3 Schlupfwiderstände	306
	4.5.11.4 Läufergegenspannung	307
	4.5.11.5 Frequenzverstellung	307
	4.5.11.6 Polumschaltung	309
	4.5.12 Bremsen	311
	4.6 Einphasen-Asynchronmotoren	315
	4.6.1 Einsträngiger Motor – Anwurfmotor	315
	4.6.2 Zweisträngiger Motor	317
	4.6.2.1 Zweiphasiger Anschluss	318
	4.6.2.2 Einphasiger Anschluss	319
	4.6.2.3 Kondensatormotor	320
	4.6.2.4 Einphasenmotor mit Widerstandshilfwicklung	322
	4.6.2.5 Spaltpolmotor	323
	4.6.3 Drehstrommotor im Einphasenbetrieb	324
	4.7 Synchronmaschinen	326
	4.7.1 Aufbau und Arten	326
	4.7.1.1 Außenpolmaschine	327
	4.7.1.2 Innenpolmaschine	328
	4.7.2 Erregung	330
	4.7.3 Wirkungsweise	331
	4.7.3.1 Leerlauf	331
	4.7.3.2 Belastung	332
	4.7.3.3 Ersatzschaltung und Zeigerdiagramm	333
	4.7.3.4 Kurzschluss	334
	4.7.3.5 Drehmoment	336
	4.7.4 Generatorbetrieb	337
	4.7.4.1 Inselbetrieb	337
	4.7.4.2 Parallelbetrieb	338
	4.7.5 Motorbetrieb	339
	4.7.5.1 Betriebsverhalten	339
	4.7.5.2 Mechanische Pendelungen	341
	4.7.5.3 Anlauf	341
	4.7.6 Drehzahlsteuerung	342
	4.7.7 Besonderheiten der Schenkelpolmaschine	342
	4.8 Drehstromantriebe am Frequenzumrichter (U -Umrichter) ..	344
	4.8.1 Drehstrom-Kurzschlussläufermotor am Frequenzumrichter	345
	4.8.2 87-Hz-Betrieb	347
	4.8.3 Parametrierung von Frequenzumrichtern	347
	4.8.4 Bremsung, Bremsarten	349
	4.8.5 Motorschutz	349
	4.8.6 Parallelschalten von Motoren	350
	4.8.7 Elektrischer Anschluss	350
5 Weitere Maschinenarten	5.1 Transformatoren	351
	5.1.1 Streufeldtransformator	351
	5.1.2 Stromrichtertransformator (SRT)	352
	5.2 Wechselstrommaschinen	356
	5.2.1 Einphasen-Reihenschlussmotor und Universalmotor	356
	5.2.2 Repulsionsmotor	358
	5.2.3 Drehstrom-Kollektormotor	358
	5.2.4 Reluktanzmotor	359
	5.2.5 Drehstromsynchrongenerator mit permanenterregtem Läufer ..	360
	5.2.6 Asynchroner Linearmotor	361
	5.3 Servoantriebe	362
	5.3.1 Bauarten	363

		Seite
5 Weitere Maschinenarten	5.3.2 Erregerkreiswerkstoffe	364
Fortsetzung	5.3.3 Motorkenndaten	365
	5.3.4 Gleichstrom-Scheibenläufermotor	369
	5.3.4.1 Aufbau und Wirkungsweise	369
	5.3.4.2 Betriebsverhalten	370
	5.3.5 Gleichstrom-Langläufermotor	370
	5.3.5.1 Aufbau und Wirkungsweise	370
	5.3.5.2 Betriebsverhalten	371
	5.3.6 Bürstenloser Gleichstrom-Servomotor	371
	5.3.7 Drehstrom-Asynchronservomotoren	373
	5.3.8 Drehstrom-Synchronservomotoren	374
	5.3.9 Gebersysteme für Servomotoren	376
	5.4 Schrittmotoren	380
	5.4.1 Aufbau, Bauarten und Wirkungsweise	380
	5.4.2 Ansteuerungsarten/Betriebsarten	381
	5.4.3 Schrittarten	383
	5.4.4 Steuerlogik	384
	5.4.5 Treiberstufen	385
	5.4.6 Betriebsverhalten	386
	5.4.7 Zusammenfassung und Erläuterungen	387
	5.5 Umformer	388
6 Prüfen der Maschinen	6.1 Elektrische Prüfung	391
	6.1.1 Körperschluss (Prüfung der Isolation)	391
	6.1.2 Windungsschluss	395
	6.1.3 Unterbrechung	396
	6.2 Erwärmungsprüfung	398
	6.3 Strom- und Drehmomentüberlastbarkeit	401
	6.4 Mechanische Prüfung	402
	6.5 Störungen und Fehlersuche im Betrieb	403
7 Normung der Maschinen	7.1 Übersicht über die einschlägigen Normen elektrischer Maschinen	408
	7.2 Bauformen und Baugröße	409
	7.3 Schutzarten	412
	7.4 Bemessung und Betrieb	414
	7.5 Betriebsarten, Bemessungsklassen	414
	7.6 Erwärmung – Thermische Klassen, Wärmeklassen	420
	7.7 Kühlung, Umgebungs- und Kühlmitteltemperatur	422
	7.8 Bemessungsspannungen	425
	7.9 Leistungsschilder	426
	7.10 Anschlussbezeichnungen und Drehsinn drehender elektrischer Maschinen	427
Anhang		429
Bildquellenverzeichnis		431
Sachwortverzeichnis		432