

Inhalt

1	Allgemeine Grundlagen elektrischer Maschinen	11
1.1	Prinzipien elektrischer Maschinen	11
1.1.1	Vorgaben im Elektromaschinenbau	11
1.1.2	Energiewandlung und Bezugspfeile	13
1.1.3	Bauarten und Gliederung elektrischer Maschinen	15
1.1.4	Leistung und Bauvolumen elektrischer Maschinen	18
1.2	Der magnetische Kreis elektrischer Maschinen	20
1.2.1	Aufbau magnetischer Kreise	20
1.2.2	Elektrobleche und Eisenverluste	23
1.2.3	Spannungen und Kräfte im Magnetfeld	26
1.2.4	Der magnetische Kreis mit Dauermagneten	29
1.2.5	Weichmagnetische Ferrite	36
2	Gleichstrommaschinen	39
2.1	Aufbau und Bauteile	40
2.1.1	Prinzipieller Aufbau	40
2.1.2	Bauteile einer Gleichstrommaschine	42
2.1.3	Ankerwicklungen	45
2.1.4	Dauermagneterregte Kleinmaschinen und ec-Motoren	52
2.2	Luftspaltfelder und Betriebsverhalten	56
2.2.1	Erregerfeld und Ankerrückwirkung	56
2.2.2	Spannungserzeugung und Drehmoment	61
2.2.3	Stromwendung	67
2.2.4	Wendepole und Kompensationswicklung	72
2.3	Kennlinien und Steuerung von Gleichstrommaschinen	77
2.3.1	Anschlussbezeichnungen und Schaltbilder	77
2.3.2	Kennlinien von Gleichstrommaschinen	79
2.3.3	Verfahren zur Drehzahländerung	88
2.3.4	Dynamisches Verhalten von Gleichstrommaschinen	96
2.4	Stromrichterbetrieb der Gleichstrommaschine	97
2.4.1	Netzgeführte Stromrichterantriebe	98
2.4.2	Antriebe mit Gleichstromsteller	103
2.4.3	Probleme der Stromrichterspeisung	105
2.5	Universalmotoren	115
2.5.1	Aufbau und Einsatz	115
2.5.2	Ersatzschaltung und Zeigerdiagramm	116

2.5.3 Verfahren der Drehzahländerung	120
2.5.4 Kommutierung	121
3 Transformatoren	125
3.1 Aufbau und Bauformen	126
3.1.1 Eisenkerne von Einphasen- und Drehstromtransformatoren	126
3.1.2 Wicklungen	129
3.1.3 Wachstumsgesetze und Kühlung	130
3.2 Betriebsverhalten von Einphasentransformatoren	139
3.2.1 Spannungsgleichungen und Ersatzschaltung	139
3.2.2 Leerlauf und Magnetisierung	144
3.2.3 Verhalten bei Belastung	149
3.2.4 Kurzschluss des Transformators	153
3.2.5 Transformatorgeräusche	158
3.3 Betriebsverhalten von Drehstromtransformatoren	159
3.3.1 Schaltzeichen und Schaltgruppen	159
3.3.2 Schaltgruppen bei unsymmetrischer Belastung	160
3.3.3 Direkter Parallelbetrieb	165
3.3.4 Regelbare Ortsnetztransformatoren (RONT)	168
3.4 Sondertransformatoren	169
3.4.1 Änderung der Übersetzung und der Strangzahl	169
3.4.2 Kleintransformatoren und Messwandler	171
3.4.3 Spartransformatoren und Drosselspulen	172
3.4.4 Leistungsübertrager mit Ferritkernen	178
4 Allgemeine Grundlagen der Drehstrommaschinen	182
4.1 Drehstromwicklungen	182
4.1.1 Ausführungsformen von Drehstromwicklungen	182
4.1.2 Wicklungsfaktoren	186
4.2 Umlaufende Magnetfelder	193
4.2.1 Durchflutung und Feld eines Wicklungsstranges	193
4.2.2 Drehfelder	196
4.2.3 Blindwiderstände der Drehstromwicklung	205
4.2.4 Spannungserzeugung und Drehmoment	207
4.3 Symmetrische Komponenten	210
4.3.1 Drehstromsystem	210
4.3.2 Zweiphasensystem	214
5 Asynchronmaschinen	217
5.1 Aufbau und Wirkungsweise	218
5.1.1 Ständer und Läufer der Asynchronmaschine	218
5.1.2 Asynchrones Drehmoment und Frequenzumformung	219
5.1.3 Drehtransformatoren	225
5.2 Darstellung der Betriebseigenschaften	227
5.2.1 Spannungsgleichungen und Ersatzschaltung	227
5.2.2 Einzelleistungen und Drehmoment	230
5.2.3 Stromortskurve	238
5.2.4 Betriebsbereiche und Kennlinien	250
5.2.5 Drehmomente und Kräfte der Oberfelder	252

5.3	Steuerung von Drehstrom-Asynchronmaschinen	261
5.3.1	Verfahren zur Drehzahländerung	261
5.3.2	Ersatzschaltung und Betrieb mit frequenzvariabler Spannung ..	269
5.3.3	Anlass- und Bremsverfahren	280
5.3.4	Unsymmetrische Betriebszustände	290
5.3.5	Dynamisches Verhalten von Asynchronmaschinen	296
5.4	Stromrichterbetrieb von Asynchronmaschinen	299
5.4.1	Spannungsänderung mit Drehstromstellern	300
5.4.2	Untersynchrone Stromrichterkaskade	305
5.4.3	Einsatz von Frequenzumrichtern	310
5.4.4	Motorrückwirkungen bei Umrichterbetrieb	316
5.5	Spezielle Bauformen und Betriebsarten der Asynchronmaschine	319
5.5.1	Stromverdrängungs- und Doppelstabläufer	319
5.5.2	Linearmotoren	322
5.5.3	Asynchrongeneratoren	326
5.5.4	Die elektrische Welle	329
5.5.5	Doppeltgespeiste Schleifringläufermotoren	330
5.5.6	Energiesparmotoren mit Wirkungsgrad-Klassifizierung	332
5.6	Einphasige Asynchronmaschinen	338
5.6.1	Einphasenmotoren ohne Hilfswicklung	338
5.6.2	Einphasenmotoren mit Kondensatorhilfswicklung	340
5.6.3	Einphasenmotoren mit Widerstandshilfswicklung	346
5.6.4	Der Drehstrommotor am Wechselstromnetz	349
5.6.5	Spaltpolmotoren	353

6 Synchronmaschinen 356

6.1	Aufbau der Synchronmaschine	357
6.1.1	Bauformen	357
6.1.2	Erregersysteme	361
6.1.3	Synchronmaschinen mit Dauermagneterregung	364
6.1.4	Synchronmaschinen mit Zahnpulpenwicklungen	367
6.2	Betriebsverhalten der Vollpolmaschine	369
6.2.1	Erregerfeld und Ankerrückwirkung	369
6.2.2	Zeigerdiagramm und Ersatzschaltung	374
6.2.3	Synchronmaschinen im Alleinbetrieb	375
6.2.4	Synchronmaschinen im Netzbetrieb	385
6.2.5	Besonderheiten der Schenkelpolmaschine	393
6.3	Verhalten der Synchronmaschine im nichtstationären Betrieb	401
6.3.1	Drehzahlsteuerung und Stromrichterbetrieb	401
6.3.2	Pendelungen und unsymmetrische Belastung	405
6.3.3	Die Synchronmaschine in Zweiachsendarstellung	408
6.3.4	Stoßkurzschluss	413
6.4	Spezielle Bauarten von Synchronmaschinen	418
6.4.1	Turbogeneratoren	418
6.4.2	Die Einphasen-Synchronmaschine	420
6.4.3	Betriebsverhalten dauerregter Synchronmotoren	421
6.4.4	Synchrone Linearmotoren	423
6.4.5	Transversalflussmotoren	429

6.5	Synchrone Kleinmaschinen	434
6.5.1	Reluktanzmotoren	434
6.5.2	Hysteresemotoren	438
6.5.3	Schrittmotoren	440
7	Antriebe für die Elektromobilität	445
7.1	Einführung	445
7.1.1	Aktuelle Situation	445
7.1.2	Konzepte der Elektrofahrzeuge	446
7.2	Der elektrische Antriebsstrang	447
7.2.1	Gesamtkonzept eines Elektrofahrzeuges	447
7.2.2	Momentverlauf und Drehzahlniveau der elektrischen Maschine	448
7.3	Hauptkomponenten des elektrischen Antriebsstranges	449
7.3.1	Energiespeicher	449
7.3.2	Leistungselektronik	451
7.3.3	Elektrische Maschine	452
7.3.4	Getriebe, ggf. mit Differential	456
7.3.5	Fahrzeug	457
7.3.6	Übergeordnete Steuerung	457
7.4	Quantitative Beschreibung von Fahrsituationen	458
7.4.1	Kinematische Grundgleichungen	458
7.4.2	Stationärer Fahrbetrieb	459
7.4.3	Dynamischer Fahrbetrieb, quasistationäre Fahrsituation	462
7.5	Download-Material zu Kapitel 7	466
8	Betriebsbedingungen elektrischer Maschinen	467
8.1	Elektrotechnische Normung und Vorschriften	467
8.2	Bauformen und Schutzarten	471
8.3	Explosionsgeschützte Ausführungen	474
8.4	Verluste, Erwärmung und Kühlung	477
8.5	Betriebsarten und Leistungsschildangaben	483
8.6	Motoren für drehzahlgeregelte Antriebe	489
9	Anhang	491
	Formelzeichen und Einheiten	491
	Berechnung der Aufgaben	496
10	Literatur	504
11	Index	513