

Inhaltsverzeichnis

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	12
1.1.3 Bauarten und Gliederung elektrischer Maschinen	15
1.1.4 Leistung und Bauvolumen elektrischer Maschinen	17
1.2 Der magnetische Kreis elektrischer Maschinen	19
1.2.1 Aufbau magnetischer Kreise	19
1.2.2 Elektroleche und Eisenverluste	21
1.2.3 Spannungen und Kräfte im Magnetfeld	24
1.2.4 Der magnetische Kreis mit Dauermagneten	26
2 Gleichstrommaschinen	32
2.1 Aufbau und Bauteile	32
2.1.1 Prinzipieller Aufbau	32
2.1.2 Bauteile einer Gleichstrommaschine	35
2.1.3 Ankerwicklungen	37
2.1.4 Dauermagneterregte Kleinmaschinen und Sonderbauformen	44
2.2 Luftspaltfelder und Betriebsverhalten	47
2.2.1 Erregerfeld und Ankerrückwirkung	47
2.2.2 Spannungserzeugung und Drehmoment	51
2.2.3 Stromwendung	56
2.2.4 Wendepole und Kompensationswicklung	60
2.3 Kennlinien und Steuerung von Gleichstrommaschinen	64
2.3.1 Anschlussbezeichnungen und Schaltbilder	64
2.3.2 Kennlinien von Gleichstrommaschinen	66
2.3.3 Verfahren zur Drehzahländerung	74
2.3.4 Dynamisches Verhalten von Gleichstrommaschinen	81
2.4 Stromrichterbetrieb von Gleichstrommaschinen	82
2.4.1 Netzgeführte Stromrichterantriebe	82
2.4.2 Antriebe mit Gleichstromsteller	86
2.4.3 Probleme der Stromrichterspeisung	89
3 Transformatoren	99
3.1 Aufbau und Bauformen	100
3.1.1 Eisenkerne von Wechsel- und Drehstromtransformatoren	100
3.1.2 Wicklungen	103
3.1.3 Wachstumsgesetze und Kühlung	103
3.2 Betriebsverhalten von Einphasentransformatoren	108
3.2.1 Spannungsgleichungen und Ersatzschaltung	108
3.2.2 Leerlauf und Magnetisierung	112

3.2.3 Verhalten bei Belastung	117
3.2.4 Kurzschluss des Transformators	120
3.2.5 Transformatorgeräusche	124
3.3 Betriebsverhalten von Drehstromtransformatoren	125
3.3.1 Schaltzeichen und Schaltgruppen	125
3.3.2 Schaltgruppen bei unsymmetrischer Belastung	127
3.3.3 Direkter Parallelbetrieb	131
3.4 Sondertransformatoren	133
3.4.1 Änderung der Übersetzung und der Strangzahl	133
3.4.2 Kleintransformatoren und Messwandler	134
3.4.3 Spartransformatoren und Drosselspulen	135
4 Allgemeine Grundlagen der Drehstrommaschinen	141
4.1 Drehstromwicklungen	141
4.1.1 Ausführungsformen einer Drehstromwicklung	141
4.1.2 Wicklungsfaktoren	144
4.2 Umlaufende Magnetfelder	150
4.2.1 Durchflutung und Feld eines Wicklungsstranges	150
4.2.2 Drehfelder	153
4.2.3 Blindwiderstände einer Drehstromwicklung	160
4.2.4 Spannungserzeugung und Drehmoment	162
4.3 Symmetrische Komponenten	164
4.3.1 Drehstromsystem	164
4.3.2 Zweiphasensystem	167
5 Asynchronmaschinen	170
5.1 Aufbau und Wirkungsweise	170
5.1.1 Ständer und Läufer der Asynchronmaschine	170
5.1.2 Asynchrones Drehmoment und Frequenzumformung	172
5.1.3 Drehtransformatoren	176
5.2 Darstellung der Betriebseigenschaften	179
5.2.1 Spannungsgleichungen und Ersatzschaltung	179
5.2.2 Einzelleistungen und Drehmomente	181
5.2.3 Stromortskurve	187
5.2.4 Betriebsbereiche und Kennlinien	197
5.2.5 Drehmomente und Kräfte der Oberfelder	199
5.3 Steuerung von Drehstrom-Asynchronmaschinen	207
5.3.1 Verfahren zur Drehzahländerung	207
5.3.2 Ersatzschaltung und Betrieb mit frequenzvariabler Spannung	214
5.3.3 Anlass- und Bremsverfahren	223
5.3.4 Unsymmetrische Betriebszustände	231
5.3.5 Dynamisches Verhalten von Asynchronmaschinen	236

5.4 Stromrichterbetrieb von Asynchronmaschinen	239
5.4.1 Spannungsänderung mit Drehstromstellern	239
5.4.2 Untersynchrone Stromrichtererkaskade	243
5.4.3 Einsatz von Frequenzumrichtern	248
5.4.4 Motorrückwirkung bei Umrichterbetrieb	254
5.5 Spezielle Bauformen und Betriebsarten der Asynchronmaschine	256
5.5.1 Stromverdrängungs- und Doppelstabläufer	256
5.5.2 Linearmotoren	259
5.5.3 Asynchrongeneratoren	263
5.5.4 Die elektrische Welle	265
5.5.5 Doppeltgespeiste Schleifringläufermotoren	266
5.5.6 Energiesparmotoren	268
5.6 Einphasige Asynchronmaschinen	273
5.6.1 Einphasenmotoren ohne Hilfswicklung	273
5.6.2 Einphasenmotoren mit Kondensatorhilfswicklung	275
5.6.3 Einphasenmotoren mit Widerstandshilfswicklung	280
5.6.4 Der Drehstrommotor am Wechselstromnetz	282
5.6.5 Spaltpolmotoren	286
6 Synchronmaschinen	289
6.1 Aufbau von Synchronmaschinen	289
6.1.1 Bauformen	289
6.1.2 Erregersysteme	293
6.1.3 Synchronmaschinen mit Dauermagneterregung	297
6.1.4 Synchronmaschinen mit Zahnspulenwicklungen	300
6.2 Betriebsverhalten der Vollpolmaschine	302
6.2.1 Erregerfeld und Ankerrückwirkung	302
6.2.2 Zeigerdiagramm und Ersatzschaltung	306
6.2.3 Synchronmaschinen im Alleinbetrieb	307
6.2.4 Synchronmaschinen im Netzbetrieb	315
6.2.5 Besonderheiten der Schenkelpolmaschine	321
6.3 Verhalten der Synchronmaschine im nichtstationären Betrieb	328
6.3.1 Drehzahlsteuerung und Stromrichterbetrieb	328
6.3.2 Pendelungen und unsymmetrische Belastung	332
6.3.3 Die Synchronmaschine in Zweiachsendarstellung	335
6.3.4 Stoßkurzschluss	339
6.4 Spezielle Bauarten von Synchronmaschinen	343
6.4.1 Turbogeneratoren	343
6.4.2 Die Einphasen-Synchronmaschine	346
6.4.3 Betriebsverhalten dauermagneterregter Synchronmotoren	346
6.4.4 Synchrone Langstator-Linearmotoren	351
6.4.5 Transversalflussmotoren	353
6.5 Synchrone Kleinmaschinen	357
6.5.1 Reluktanzmotoren	357
6.5.2 Hysteresemotoren	360
6.5.3 Schrittmotoren	362

7 Stromwendermaschinen für Wechsel- und Drehstrom	367
7.1 Übersicht	367
7.2 Universalmotoren	369
7.2.1 Aufbau und Einsatz	369
7.2.2 Ersatzschaltung und Zeigerdiagramm	370
7.2.3 Verfahren der Drehzahländerung	373
7.2.4 Stromwendung	374
8 Betriebsbedingungen elektrischer Maschinen	378
8.1 Elektrotechnische Normung und Vorschriften	378
8.2 Bauformen und Schutzarten	381
8.3 Explosiongeschützte Ausführungen	384
8.4 Verluste, Erwärmung und Kühlung	387
8.5 Betriebsarten und Leistungsschildangaben	393
9 Anhang	399
Schrifttum	399
Formelzeichen und Einheiten	406
Berechnung der Aufgaben	410
Sachwortverzeichnis	415