

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 Elektrobleche und Eisenverluste	21
1.2.3 Spannungen und Kräfte im Magnetfeld	25
1.2.4 Der magnetische Kreis mit Dauermagneten	27
2 Gleichstrommaschinen	33
2.1 Aufbau und Bauteile	33
2.1.1 Prinzipieller Aufbau	33
2.1.2 Bauteile einer Gleichstrommaschine	36
2.1.3 Ankerwicklungen	38
2.1.4 Dauermagneterteigte Kleinmaschinen und Sonderbauformen	45
2.2 Luftspaltfelder und Betriebsverhalten	48
2.2.1 Erregerfeld und Ankerrückwirkung	48
2.2.2 Spannungserzeugung und Drehmoment	52
2.2.3 Stromwendung	57
2.2.4 Wendepole und Kompensationswicklung	61
2.3 Kennlinien und Steuerung von Gleichstrommaschinen	65
2.3.1 Anschlussbezeichnungen und Schaltbilder	65
2.3.2 Kennlinien von Gleichstrommaschinen	67
2.3.3 Verfahren zur Drehzahländerung	75
2.3.4 Dynamisches Verhalten von Gleichstrommaschinen	82
2.4 Stromrichterbetrieb von Gleichstrommaschinen	83
2.4.1 Netzgeführte Stromrichterantriebe	83
2.4.2 Antriebe mit Gleichstromsteller	87
2.4.3 Probleme der Stromrichterspeisung	90
3 Transformatoren	100
3.1 Aufbau und Bauformen	101
3.1.1 Eisenkerne von Wechsel- und Drehstromtransformatoren	101
3.1.2 Wicklungen	104
3.1.3 Wachstumsgesetze und Kühlung	104
3.2 Betriebsverhalten von Einphasentransformatoren	113
3.2.1 Spannungsgleichungen und Ersatzschaltung	113
3.2.2 Leerlauf und Magnetisierung	117

3.2.3 Verhalten bei Belastung	122
3.2.4 Kurzschluss des Transformatoren	125
3.2.5 Transformatorgeräusche	129
3.3 Betriebsverhalten von Drehstromtransformatoren	130
3.3.1 Schaltzeichen und Schaltgruppen	130
3.3.2 Schaltgruppen bei unsymmetrischer Belastung	132
3.3.3 Direkter Parallelbetrieb	136
3.4 Sondertransformatoren	138
3.4.1 Änderung der Übersetzung und der Strangzahl	138
3.4.2 Kleintransformatoren und Messwandler	139
3.4.3 Spartransformatoren und Drosselpulen	140
4 Allgemeine Grundlagen der Drehstrommaschinen	146
4.1 Drehstromwicklungen	146
4.1.1 Ausführungsformen einer Drehstromwicklung	146
4.1.2 Wicklungsfaktoren	149
4.2 Umlaufende Magnetfelder	155
4.2.1 Durchflutung und Feld eines Wicklungsstranges	155
4.2.2 Drehfelder	158
4.2.3 Blindwiderstände einer Drehstromwicklung	165
4.2.4 Spannungserzeugung und Drehmoment	167
4.3 Symmetrische Komponenten	169
4.3.1 Drehstromsystem	169
4.3.2 Zweiphasensystem	172
5 Asynchronmaschinen	175
5.1 Aufbau und Wirkungsweise	175
5.1.1 Ständer und Läufer der Asynchronmaschine	175
5.1.2 Asynchrones Drehmoment und Frequenzumformung	177
5.1.3 Drehtransformatoren	181
5.2 Darstellung der Betriebseigenschaften	184
5.2.1 Spannungsgleichungen und Ersatzschaltung	184
5.2.2 Einzelleistungen und Drehmomente	186
5.2.3 Stromortskurve	192
5.2.4 Betriebsbereiche und Kennlinien	202
5.2.5 Drehmomente und Kräfte der Oberfelder	204
5.3 Steuerung von Drehstrom-Asynchronmaschinen	212
5.3.1 Verfahren zur Drehzahländerung	212
5.3.2 Ersatzschaltung und Betrieb mit frequenzvariabler Spannung	219
5.3.3 Anlass- und Bremsverfahren	228
5.3.4 Unsymmetrische Betriebszustände	237
5.3.5 Dynamisches Verhalten von Asynchronmaschinen	242

5.4 Stromrichterbetrieb von Asynchronmaschinen	245
5.4.1 Spannungsänderung mit Drehstromstellern	245
5.4.2 Untersynchrone Stromrichterkaskade	249
5.4.3 Einsatz von Frequenzumrichtern	254
5.4.4 Motorrückwirkung bei Umrichterbetrieb	260
5.5 Spezielle Bauformen und Betriebsarten der Asynchronmaschine	262
5.5.1 Stromverdrängungs- und Doppelstabläufer	262
5.5.2 Linearmotoren	265
5.5.3 Asynchrongeneratoren	269
5.5.4 Die elektrische Welle	271
5.5.5 Doppeltgespeiste Schleifringläufermotoren	272
5.5.6 Energiesparmotoren	274
5.6 Einphasige Asynchronmaschinen	279
5.6.1 Einphasenmotoren ohne Hilfswicklung	279
5.6.2 Einphasenmotoren mit Kondensatorhilfswicklung	281
5.6.3 Einphasenmotoren mit Widerstandshilfswicklung	286
5.6.4 Der Drehstrommotor am Wechselstromnetz	288
5.6.5 Spaltpolmotoren	292
6 Synchronmaschinen	295
6.1 Aufbau von Synchronmaschinen	295
6.1.1 Bauformen	295
6.1.2 Erregersysteme	299
6.1.3 Synchronmaschinen mit Dauermagneterregung	303
6.1.4 Synchronmaschinen mit Zahnpulpenwicklungen	306
6.2 Betriebsverhalten der Vollpolmaschine	308
6.2.1 Erregerfeld und Ankerrückwirkung	308
6.2.2 Zeigerdiagramm und Ersatzschaltung	312
6.2.3 Synchronmaschinen im Alleinbetrieb	313
6.2.4 Synchronmaschinen im Netzbetrieb	321
6.2.5 Besonderheiten der Schenkelpolmaschine	327
6.3 Verhalten der Synchronmaschine im nichtstationären Betrieb	334
6.3.1 Drehzahlsteuerung und Stromrichterbetrieb	334
6.3.2 Pendelungen und unsymmetrische Belastung	338
6.3.3 Die Synchronmaschine in Zweiachsendarstellung	341
6.3.4 Stoßkurzschluss	345
6.4 Spezielle Bauarten von Synchronmaschinen	349
6.4.1 Turbogeneratoren	349
6.4.2 Die Einphasen-Synchronmaschine	352
6.4.3 Betriebsverhalten dauerregter Synchronmotoren	352
6.4.4 Synchrone Langstator-Linearmotoren	357
6.4.5 Transversalflussmotoren	359
6.5 Synchronen Kleinmaschinen	363
6.5.1 Reluktanzmotoren	363
6.5.2 Hysteresemotoren	366
6.5.3 Schrittmotoren	368

7 Stromwendermaschinen für Wechsel- und Drehstrom	373
7.1 Übersicht	373
7.2 Universalmotoren	375
7.2.1 Aufbau und Einsatz	375
7.2.2 Ersatzschaltung und Zeigerdiagramm	376
7.2.3 Verfahren der Drehzahländerung	379
7.2.4 Stromwendung	380
8 Betriebsbedingungen elektrischer Maschinen	384
8.1 Elektrotechnische Normung und Vorschriften	384
8.2 Bauformen und Schutzarten	387
8.3 Explosionsgeschützte Ausführungen	390
8.4 Verluste, Erwärmung und Kühlung	393
8.5 Betriebsarten und Leistungsschildangaben	399
9 Anhang	405
Schrifttum	405
Formelzeichen und Einheiten	412
Berechnung der Aufgaben	416
Sachwortverzeichnis	421