

# Inhalt

1	Allgemeine Grundlagen elektrischer Maschinen	11
1.1	Grundgesetze und Bauarten elektrischer Maschinen	11
1.1.1	Spannungen und Kräfte im magnetischen Feld	11
1.1.2	Bestimmung magnetischer Felder	15
1.1.3	Energiewandlung und Bezugspfeilsysteme	18
1.1.4	Klassifizierung elektrischer Maschinen	20
1.2	Der magnetische Kreis elektrischer Maschinen	22
1.2.1	Aufbau magnetischer Kreise	22
1.2.2	Elektrobleche und Eisenverluste	24
1.2.3	Der magnetische Kreis mit Dauermagneten	27
1.2.4	Ausnutzungsziffer	33
2	Gleichstrommaschinen	35
2.1	Aufbau und Bauteile	35
2.1.1	Prinzipieller Aufbau	35
2.1.2	Bauteile einer Gleichstrommaschine	38
2.1.3	Ankerwicklungen	41
2.1.4	Sonderbauformen der Gleichstrommaschine	48
2.2	Luftspaltfelder	51
2.2.1	Erregerfeld und Ankerrückwirkung	51
2.2.2	Spannungserzeugung und Drehmoment	55
2.2.3	Stromwendung	59
2.2.4	Wendepole und Kompensationswicklung	64
2.3	Betriebskennlinien von Gleichstrommaschinen	69
2.3.1	Anschlußbezeichnungen und Schaltbilder	69
2.3.2	Kennlinien von Gleichstromgeneratoren	70
2.3.3	Kennlinien von Gleichstrommotoren	74
2.4	Steuerung von Gleichstrommotoren	81
2.4.1	Methoden der Drehzahleinstellung	81
2.4.2	Anlassen und Bremsbetrieb	86
2.4.3	Dynamisches Verhalten von Gleichstrommaschinen	89
2.5	Stromrichterbetrieb der Gleichstrommaschine	92
2.5.1	Netzgeführte Stromrichterantriebe	92
2.5.2	Antriebe mit Gleichstromsteller	96
2.5.3	Probleme der Stromrichterspeisung	99
3	Transformatoren	111
3.1	Aufbau und Bauformen	112
3.1.1	Eisenkerne von Einphasen- und Drehstromtransformatoren	112
3.1.2	Wicklungen	115
3.1.3	Wachstumsgesetze und Kühlung	116

3.2 Betriebsverhalten des Einphasentransformators . . . . .	120
3.2.1 Spannungsgleichungen und Ersatzschaltung . . . . .	120
3.2.2 Leerlauf und Magnetisierung . . . . .	124
3.2.3 Belastung des Transformators . . . . .	129
3.2.4 Kurzschluß des Transformators . . . . .	132
3.2.5 Transformatorgeräusche . . . . .	136
3.3 Betriebsverhalten von Drehstromtransformatoren . . . . .	136
3.3.1 Schaltzeichen und Schaltgruppen . . . . .	136
3.3.2 Magnetisierung von Drehstromtransformatoren . . . . .	138
3.3.3 Drehstromschaltungen bei unsymmetrischer Belastung . . . . .	140
3.3.4 Parallelbetrieb von Transformatoren . . . . .	144
3.4 Sondertransformatoren . . . . .	146
3.4.1 Übersetzungsänderung und Phasenvervielfachung . . . . .	146
3.4.2 Kleintransformatoren und Meßwandler . . . . .	147
3.4.3 Spartransformatoren und Drosselspulen . . . . .	149
4 Allgemeine Grundlagen der Drehstrommaschinen . . . . .	153
4.1 Drehstromwicklungen . . . . .	153
4.1.1 Ausführungsformen von Drehstromwicklungen . . . . .	153
4.1.2 Wicklungsfaktoren . . . . .	156
4.2 Umlaufende Magnetfelder . . . . .	161
4.2.1 Durchflutung und Feld eines Wicklungsstrangs . . . . .	161
4.2.2 Drehfelder . . . . .	164
4.2.3 Blindwiderstände einer Drehstromwicklung . . . . .	171
4.2.4 Spannungserzeugung und Drehmoment . . . . .	172
4.3 Symmetrische Komponenten . . . . .	175
4.3.1 Dreiphasensystem . . . . .	175
4.3.2 Zweiphasensystem . . . . .	177
5 Asynchronmaschinen . . . . .	180
5.1 Aufbau und Wirkungsweise . . . . .	180
5.1.1 Ständer und Läufer der Asynchronmaschine . . . . .	180
5.1.2 Asynchrones Drehmoment und Frequenzumformung . . . . .	182
5.1.3 Drehtransformatoren . . . . .	186
5.2 Darstellung der Betriebseigenschaften . . . . .	190
5.2.1 Spannungsgleichungen und Ersatzschaltung . . . . .	190
5.2.2 Leistungsaufteilung und Drehmoment . . . . .	192
5.2.3 Stromortskurve . . . . .	198
5.2.4 Betriebsbereiche und Belastungskennlinien . . . . .	208
5.2.5 Drehmomente und Kräfte der Oberfelder . . . . .	210
5.3 Steuerung von Drehstrom-Asynchronmaschinen . . . . .	218
5.3.1 Methoden der Drehzahleinstellung . . . . .	218
5.3.2 Anlassen und Bremsbetrieb . . . . .	230
5.3.3 Dynamisches Verhalten von Asynchronmaschinen . . . . .	238

5.4	Stromrichter gespeiste Drehstrom-Asynchronmaschinen	240
5.4.1	Spannungsänderung mit Drehstromstellern	241
5.4.2	Untersynchrone Stromrichter kaskade	245
5.4.3	Umrichterbetrieb der Drehstrom-Asynchronmaschine	249
5.5	Spezielle Bauformen und Betriebsarten der Drehstrom-Asynchronmaschine	255
5.5.1	Asynchronmaschinen mit Stromverdrängungs- und Doppelstabläufer	255
5.5.2	Linearmotoren	258
5.5.3	Asynchrongeneratoren	262
5.5.4	Die elektrische Welle	265
5.6	Einphasige Asynchronmaschinen	266
5.6.1	Einphasenmotoren ohne Hilfswicklung	266
5.6.2	Einphasenmotoren mit Kondensatorhelfswicklung	268
5.6.3	Einphasenmotoren mit Widerstandshelfswicklung	273
5.6.4	Der Drehstrommotor am Wechselstromnetz	275
5.6.5	Spaltpolmotoren	280
6	Synchronmaschinen	283
6.1	Aufbau der Synchronmaschine	283
6.1.1	Bauformen	283
6.1.2	Erregersysteme	288
6.1.3	Synchronmaschinen mit Dauermagneterregung	291
6.2	Betriebsverhalten der Vollpolmaschine	292
6.2.1	Erregerfeld und Ankerrückwirkung	292
6.2.2	Zeigerdiagramm und Ersatzschaltung	297
6.2.3	Belastung der Synchronmaschine im Inselbetrieb	298
6.2.4	Die Synchronmaschine im Netzbetrieb	306
6.2.5	Besonderheiten der Schenkelpolmaschine	313
6.3	Verhalten der Synchronmaschine im nichtstationären Betrieb	320
6.3.1	Drehzahlsteuerung der Synchronmaschine	320
6.3.2	Pendelungen und unsymmetrische Belastung	326
6.3.3	Die Synchronmaschine in Zweiachsendarstellung	329
6.3.4	Stoßkurzschluß	333
6.4	Sonderbauarten von Synchronmaschinen	338
6.4.1	Grenzleistungs-Turbogeneratoren	338
6.4.2	Die Einphasen-Synchronmaschine	340
6.4.3	Reluktanz- und Hysteresemotoren	341
6.4.4	Schrittmotoren	343
7	Stromwendermaschinen für Wechsel- und Drehstrom	349
7.1	Stromwendermaschinen für Wechselstrom	349
7.1.1	Einphasen-Reihenschlußmotoren	349
7.1.2	Universalmotoren	356
7.2	Drehstrom-Kommutatormaschinen	360
7.2.1	Der ständig gespeiste Nebenschlußmotor	361
7.2.2	Der läufer gespeiste Nebenschlußmotor	364

8	Betriebsbedingungen elektrischer Maschinen . . . . .	365
8.1	Elektrotechnische Normung und Vorschriften . . . . .	365
8.2	Bauformen und Schutzarten . . . . .	369
8.3	Schlagwetter- und Explosionsschutz . . . . .	372
8.4	Verluste, Erwärmung und Kühlung . . . . .	375
8.5	Nennbetriebsarten . . . . .	381
8.6	Leistungsschild elektrischer Maschinen . . . . .	384
9	Anhang . . . . .	387
	Schrifttum . . . . .	387
	Formelzeichen und Einheiten . . . . .	393
	Sachwortverzeichnis . . . . .	397