

Inhaltsverzeichnis

Die elektrischen Maschinen – Eine Kurzgeschichte der elektrischen Energietechnik	1
1 Gleichstrommaschine	5
1.1 Elektromechanische Energiewandlung	5
1.1.1 Generatorbetrieb	6
1.1.2 Motorbetrieb	9
1.1.3 Übergang vom Motor- in den Generatorbetrieb	14
1.2 Die Grundform der Gleichstrommaschine	16
1.2.1 Generator	17
1.2.2 Motor	19
1.3 Der Aufbau der Gleichstrommaschine	21
1.3.1 Leiterschleife	22
1.3.2 Doppel-T-Anker	23
1.3.3 Ringanker	23
1.3.4 Trommelanker	26
1.4 Gleichstromgenerator	28
1.4.1 Fremderregter Generator	29
1.4.2 Nebenschlußgenerator	34
1.4.3 Reihenschlußgenerator	40
1.4.4 Doppelschlußgenerator	43
1.5 Gleichstrommotor	45
1.5.1 Fremderregter Motor	45
1.5.2 Nebenschlußmotor	57
1.5.3 Reihenschlußmotor	60
1.6 Die magnetischen Felder der Gleichstrommaschine	69
1.6.1 Das Ankerfeld	71
1.6.2 Wendepolwicklung	72
1.6.3 Kompensationswicklung oder zusätzliche Erregerwicklung	73
1.6.4 Klemmenbezeichnungen bei der Gleichstrommaschine	75
1.7 Verluste und Wirkungsgrad	76
1.7.1 Die Ummagnetisierungsverlustleistung	77
1.7.2 Die Wirbelstromverlustleistung	79
1.7.3 Reibungsverlustleistung und weitere Verluste	81
1.7.4 Der Leistungsfluß der Maschine	82

1.7.5	Der Wirkungsgrad der Maschine	83
1.8	Weitere Beispiele für den Einsatz der Gleichstrommaschine	94
2	Transformator	103
2.1	Idealer Transformator	104
2.1.1	Das Spannungsgleichgewicht	104
2.1.2	Der Transformator als Spannungswandler	109
2.1.3	Das Durchflutungsgleichgewicht	111
2.1.4	Der Transformator als Stromwandler	112
2.1.5	Der belastete Transformator	112
2.2	Realer Transformator	115
2.2.1	Eisenverlustleistung	115
2.2.1.1	Der Transformator mit Eisenverlustleistung im Leerlauf	119
2.2.1.2	Der Transformator mit Eisenverlustleistung bei Belastung	121
2.2.2	Kupfer- oder Stromwärmeverlustleistung in den Wicklungen	123
2.2.3	Magnetischer Streufluß	124
2.3	Ersatzschaltung des Transformators	130
2.3.1	Idealer Transformator mit gleichen Wicklungswindungszahlen	130
2.3.2	Realer Transformator mit gleichen Wicklungswindungszahlen	133
2.3.3	Idealer Transformator mit ungleichen Wicklungswindungszahlen ..	136
2.3.4	Realer Transformator mit ungleichen Wicklungswindungszahlen ...	142
2.3.5	Vereinfachte Ersatzschaltung	144
2.4	Untersuchung und Betrieb des Transformators	147
2.4.1	Der Leerlaufversuch	147
2.4.2	Der Kurzschlußversuch	150
2.4.3	Der Wirkungsgrad	155
2.4.4	Stoßkurzschlußstrom und Einschaltstromstoß	170
2.4.5	Parallelbetrieb von Transformatoren	175
2.4.6	Wanderwellenverhalten des Transformators	178
2.5	Spannungs- und Stromwandler	181
2.5.1	Spannungswandler	182
2.5.2	Stromwandler	183
2.6	Dreiphasenwechselstrom- oder Drehstromtransformator	184
2.7	Spartransformator	205
2.8	Wachstumsgesetze	213
2.9	Dreiwicklungstransformator	218
3	Asynchronmaschine	227
3.1	Aufbau und Wirkungsweise der Asynchronmaschine	228
3.1.1	Der Aufbau der Maschine	228
3.1.2	Das Spannungsgleichgewicht auf der Statorseite	229
3.1.3	Die Entstehung des Drehfeldes	230

3.1.4	Das Drehfeld induziert in den Rotorleitern eine Spannung	235
3.1.5	Der Rotor dreht sich	236
3.1.6	Spannungs- und Durchflutungsgleichgewicht	243
3.1.7	Vor- und Nachteile des Asynchronmotors	244
3.2	Käfigläufer und Schleifringläufer	247
3.2.1	Das Drehmoment	247
3.2.2	Der Strom	251
3.2.3	Käfigläufer	252
3.2.4	Schleifringläufer	259
3.2.5	Möglichkeiten der Drehzahlverstellung	260
3.2.6	Drehrichtungsumkehr und Bremsen	262
3.3	Leistungsfluß des Asynchronmotors	262
3.4	Die Ersatzschaltung der Asynchronmaschine	270
3.4.1	Entwicklung der Ersatzschaltung	271
3.4.1.1	Die Ersatzschaltung für die Rotorseite	271
3.4.1.2	Die vollständige Ersatzschaltung	274
3.4.2	Leistungsfluß und Ersatzschaltung	275
3.4.3	Berechnung des Betriebsverhaltens der Maschine mit Hilfe der Ersatzschaltung	278
3.4.4	Die experimentelle Bestimmung der Ersatzschaltung	279
3.4.4.1	Der Kurzschlußversuch	282
3.4.4.2	Der Leerlaufversuch	285
3.4.5	Vereinfachte Ersatzschaltung für große Asynchronmaschinen	289
3.5	Das Kreisdiagramm der Asynchronmaschine	294
3.5.1	Die Impedanzortskurve für den Rotor	295
3.5.2	Die Admittanzortskurve für den Rotor	296
3.5.3	Die Ortskurve für den Rotorstrom	297
3.5.4	Das vereinfachte Kreisdiagramm für Maschinen großer Leistung ..	298
3.5.5	Das allgemeingültige Kreisdiagramm	301
3.5.6	Generatorbetrieb der Maschine	302
3.5.7	Bremsbetrieb	303
3.5.8	Experimentelle Ermittlung des Kreisdiagramms	304
3.6	Die Asynchronmaschine als Generator	308
3.6.1	Die Asynchronmaschine als Generator am Netz konstanter Spannung und Frequenz	309
3.6.2	Die Asynchronmaschine als Generator im Inselbetrieb	312
3.7	Blindstromkompensation bei der Asynchronmaschine	318
3.8	Die Asynchronmaschine am Netz variabler Frequenz	322
4	Synchronmaschine	327
4.1	Aufbau und Wirkungsweise der Synchronmaschine	327
4.1.1	Grundsätzlicher Aufbau	327
4.1.2	Inselbetrieb und Betrieb am Netz konstanter Spannung und Frequenz	328

4.1.3 Drehfeld und Motorbetrieb	329
4.1.4 Generatorbetrieb	332
4.1.5 Dampf- und Wasserkraftgeneratoren	332
4.2 Ersatzschaltung der Vollpolmaschine	337
4.2.1 Die Ersatzschaltung	337
4.2.2 Die Leerlaufkennlinie	340
4.2.3 Die Kurzschlußkennlinie	342
4.2.4 Die Synchronreaktanz	345
4.3 Synchronisation	349
4.3.1 Dunkelschaltung	351
4.3.2 Gemischte Schaltung	353
4.4 Belastungseinstellung	354
4.4.1 Wirkleistungsverhältnisse	354
4.4.2 Blindleistungsverhältnisse	355
4.5 Das Stromdiagramm der Vollpolmaschine	359
4.5.1 Das Zeigerdiagramm	359
4.5.2 Das Stromdiagramm	360
4.5.3 Die Belastungsgrenzen	362
4.5.4 Belastungseinstellung im Stromdiagramm	363
4.6 Berechnung des Betriebsverhaltens der Vollpolmaschine	375
4.6.1 Generator- und Motorbetrieb	377
4.6.2 Blindleistungsabgabe und Blindleistungsaufnahme	380
4.7 Die Schenkelpolmaschine	388
4.7.1 Die Synchronreaktanz der Vollpolmaschine	388
4.7.2 Die Reaktanzen der Schenkelpolmaschine	389
4.7.3 Messung der Reaktanzen der Schenkelpolmaschine	391
4.7.4 Wirkleistung und Blindleistung	391
4.8 Der Kurzschluß	394
4.8.1 Verlauf des Kurzschlußstroms	394
4.8.2 Die Reaktanzen der Maschine	395
4.8.3 Die Lenz'sche Regel	396
4.8.4 Die Zeitkonstanten der Maschine	398
4.8.5 Kurzschlußberechnung	398
4.9 Inselbetrieb	403
4.9.1 Belastungskennlinien	404
4.9.2 Regulierkennlinien	406
5 Einphasenwechselstrommotoren	409
5.1 Universalmotor	409
5.2 Asynchronmotor	411
5.3 Synchronmotor	417
Literatur	419
Sachverzeichnis	425