

Eckhard Spring

Elektrische Maschinen

Eine Einführung

3. Auflage

4y Springer

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 Synchronreaktanzen.....	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 Synchronreaktanzen 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