

**CARL HANSER VERLAG**

Rolf Fischer

**Elektrische Maschinen**

3-446-22693-1

[www.hanser.de](http://www.hanser.de)

# Inhalt

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 .....	18
1.2.1 Aufbau magnetischer Kreise .....	18
1.2.2 Elektroleche und Eisenverluste .....	21
1.2.3 Spannungen und Kräfte im Magnetfeld .....	23
1.2.4 Der magnetische Kreis mit Dauermagneten .....	25
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 Sonderbauformen von Gleichstrommaschinen .....	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 .....	55
2.2.4 Wendepole und Kompensationswicklung .....	59
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 .....	80
2.4 Stromrichterbetrieb von Gleichstrommaschinen .....	81
2.4.1 Netzgeführte Stromrichterantriebe .....	81
2.4.2 Antriebe mit Gleichstromsteller .....	86
2.4.3 Probleme der Stromrichterspeisung .....	88
3 Transformatoren .....	99
3.1 Aufbau und Bauformen .....	100
3.1.1 Eisenkerne von Wechsel- und Drehstromtransformatoren .....	101
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 Belastung des Transformators . . . . .	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 Wicklungsstrangs . . . . .	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 Betrieb mit frequenzvariabler Spannung . . . . .	214
5.3.3 Anlass- und Bremsverfahren . . . . .	220
5.3.4 Unsymmetrische Betriebszustände . . . . .	228
5.3.5 Dynamisches Verhalten von Asynchronmaschinen . . . . .	232
5.4 Stromrichterbetrieb von Asynchronmaschinen . . . . .	235
5.4.1 Spannungsänderung mit Drehstromstellern . . . . .	235
5.4.2 Untersynchrone Stromrichter-kaskade . . . . .	239

---

5.4.3 Einsatz von Frequenzumrichtern .....	243
5.4.4 Probleme der Stromrichterspeisung .....	249
5.5 Spezielle Bauformen und Betriebsarten der Asynchronmaschine .....	251
5.5.1 Stromverdrängungs- und Doppelstabläufer .....	251
5.5.2 Linearmotoren .....	253
5.5.3 Asynchrongeneratoren .....	257
5.5.4 Die Elektrische Welle .....	260
5.5.5 Doppeltgespeiste Schleifringläufermotoren .....	261
5.5.6 Energiesparmotoren .....	263
5.6 Einphasige Asynchronmaschinen .....	266
5.6.1 Einphasenmotoren ohne Hilfswicklung .....	266
5.6.2 Einphasenmotoren mit Kondensatorhilfswicklung .....	268
5.6.3 Einphasenmotoren mit Widerstandshilfswicklung .....	273
5.6.4 Der Drehstrommotor am Wechselstromnetz .....	275
5.6.5 Spaltpolmotoren .....	278
6 Synchronmaschinen .....	282
6.1 Aufbau von Synchronmaschinen .....	282
6.1.1 Bauformen .....	282
6.1.2 Erregersysteme .....	286
6.1.3 Synchronmaschinen mit Dauermagneterregung .....	290
6.2 Betriebsverhalten der Vollpolmaschine .....	291
6.2.1 Erregerfeld und Ankerrückwirkung .....	291
6.2.2 Zeigerdiagramm und Ersatzschaltung .....	295
6.2.3 Synchronmaschinen im Alleinbetrieb .....	296
6.2.4 Synchronmaschinen im Netzbetrieb .....	304
6.2.5 Besonderheiten der Schenkelpolmaschine .....	310
6.3 Verhalten der Synchronmaschine im nichtstationären Betrieb .....	317
6.3.1 Drehzahlsteuerung und Stromrichterbetrieb .....	317
6.3.2 Pendelungen und unsymmetrische Belastung .....	321
6.3.3 Die Synchronmaschine in Zweiachsendarstellung .....	324
6.3.4 Stoßkurzschluss .....	328
6.4 Spezielle Bauarten von Synchronmaschinen .....	332
6.4.1 Turbogeneratoren .....	332
6.4.2 Die Einphasen-Synchronmaschine .....	335
6.4.3 Dauermagneterregte AC-Servomotoren .....	335
6.4.4 Synchrone Langstator-Linearmotoren .....	341
6.5 Synchrone Kleinmaschinen .....	344
6.5.1 Reluktanzmotoren .....	344
6.5.2 Hystereseomotoren .....	347
6.5.3 Schrittmotoren .....	349
7 Stromwendermaschinen für Wechsel- und Drehstrom .....	354
7.1 Übersicht .....	354
7.2 Wechselstrom-Bahnmotoren .....	355
7.3 Universalmotoren .....	362

---

8 Betriebsbedingungen elektrischer Maschinen .....	367
8.1 Elektrotechnische Normung und Vorschriften .....	367
8.2 Bauformen und Schutzarten .....	370
8.3 Explosionsgeschützte Ausführungen .....	373
8.4 Verluste, Erwärmung und Kühlung .....	376
8.5 Betriebsarten und Leistungsschildangaben .....	382
9 Anhang .....	388
Schrifttum .....	388
Formelzeichen und Einheiten .....	395
Berechnung der Aufgaben .....	399
Sachwortverzeichnis .....	404