

Klaus Fuest  
Peter Döring

# **Elektrische Maschinen und Antriebe**

**Lehr- und Arbeitsbuch**

Mit 265 Abbildungen, zahlreichen durchgerechneten Beispielen und Übungen sowie Fragen und Aufgaben zur Vertiefung des Lehrstoffs

6., verbesserte und ergänzte Auflage

**Viewegs Fachbücher der Technik**



# Inhaltsverzeichnis

<b>Einführung.....</b>	<b>1</b>
<b>1 Transformator .....</b>	<b>4</b>
1.1 Aufgaben des Transformators .....	4
1.2 Bauteile eines Transformators.....	4
1.2.1 Der Eisenkern .....	5
1.2.2.1 Kernbauart .....	5
1.2.2.2 Mantelbauart .....	6
1.2.2 Die Wicklungen.....	7
1.2.2.1 Die Scheibenwicklung .....	7
1.2.2.2 Zylinderwicklung.....	7
1.2.3 Die Kühlung.....	8
1.3 Das Betriebsverhalten des Einphasentransformators.....	8
1.3.1 Der Transformator bei Belastung.....	8
1.3.1.1 Ersatzschaltbild .....	9
1.3.1.2 Der Ersatzstromkreis.....	10
1.3.1.3 Das Zeigerdiagramm .....	13
1.3.1.4 Das Kappsche Diagramm .....	14
1.3.2 Der Transformator im Leerlaufbetrieb .....	15
1.3.2.1 Das Zeigerdiagramm im Leerlauf .....	16
1.3.2.2 Der Leerlaufversuch .....	16
1.3.3 Der Transformator bei Kurzschluss .....	18
1.3.3.1 Das Zeigerdiagramm bei Kurzschluss .....	18
1.3.3.2 Der Kurzschlussversuch .....	19
1.3.4 Der Wirkungsgrad des Transformatoren.....	21
1.3.5 Der Drehstromtransformator .....	22
1.3.5.1 Die Schaltgruppen von Drehstromtransformatoren .....	23
1.3.5.2 Der Parallelbetrieb von Drehstromtransformatoren.....	24
1.4 Zusammenstellung der wichtigsten Formeln.....	25
1.5 Beispiele.....	26
<b>2 Gleichstrommaschinen.....</b>	<b>32</b>
2.1 Der Aufbau der Gleichstrommaschine .....	32
2.1.1 Der Ständer .....	32
2.1.2 Der Läufer.....	33

2.2	Die Wirkungsweise der Gleichstrommaschine .....	35
2.2.1	Grundlagen .....	35
2.2.2	Der Trommelanker .....	36
2.2.3	Der Motorbetrieb .....	37
2.2.4	Der Generatorbetrieb .....	39
2.2.5	Die Wendepol- und Kompensationswicklung .....	40
2.3	Die Grundgleichungen .....	42
2.3.1	Spannungen .....	42
2.3.2	Leistungen .....	42
2.3.3	Moment .....	42
2.3.4	Drehzahl .....	43
2.4	Das Betriebsverhalten .....	44
2.4.1	Schaltungsarten der Erregerwicklung .....	44
2.4.2	Die fremderregte Gleichstrommaschine .....	45
2.4.2.1	Der fremderregte Gleichstromgenerator .....	45
2.4.2.2	Der fremderregte Gleichstrommotor.....	46
2.4.3	Die Gleichstrom-Nebenschlussmaschine.....	54
2.4.3.1	Der Gleichstrom-Nebenschlussgenerator .....	54
2.4.3.2	Der Gleichstrom-Nebenschlussmotor .....	60
2.4.4	Die Gleichstrom-Reihenschlussmaschine .....	61
2.4.4.1	Der Gleichstrom-Reihenschlussgenerator.....	61
2.4.4.2	Der Gleichstrom-Reihenschlussmotor .....	62
2.4.5	Die Gleichstrom-Doppelschlussmaschine .....	67
2.4.5.1	Der Gleichstrom-Doppelschlussgenerator .....	68
2.4.5.2	Der Gleichstrom-Doppelschlussmotor.....	69
2.5	Zusammenstellung der wichtigsten Formeln.....	70
2.6	Beispiele.....	70
<b>3</b>	<b>Drehfeld.....</b>	<b>78</b>
<b>4</b>	<b>Drehstrom-Asynchronmaschine.....</b>	<b>80</b>
4.1	Aufbau der Asynchronmaschine .....	80
4.2	Wirkungsweise der Drehstromasynchronmaschine.....	81
4.3	Betriebsverhalten der DAsM.....	85
4.3.1	Die Leistungsbilanz .....	85
4.3.2	Das Drehmoment.....	86
4.3.3	Die Ortskurve des Ständerstromes .....	86
4.3.4	Die Drehmoment-Drehzahl-Kennlinie.....	91
4.3.5	Das vereinfachte Kreisdiagramm .....	92
4.4	Der Schleifringläufer mit Vorwiderständen im Läuferkreis .....	94
4.5	Anlassmethode für Kurzschlussläufer.....	95

4.6	Drehzahlsteuerung und elektrische Bremsung .....	98
4.7	Zusammenstellung der wichtigsten Beziehungen .....	99
4.8	Beispiele .....	101
<b>5</b>	<b>Drehstrom-Synchronmaschine .....</b>	<b>106</b>
5.1	Die Bauarten der Synchronmaschine .....	106
5.2	Der Aufbau der Innenpolmaschine .....	107
5.3	Die Wirkungsweise der Synchronmaschine .....	108
5.3.1	Der Synchrongenerator .....	109
5.3.2	Der Synchronmotor .....	112
5.4	Das Betriebsverhalten der Synchronmaschine .....	113
5.4.1	Die Ortskurve des Ständerstromes .....	113
5.4.2	Das Drehmoment .....	118
5.4.3	Anlauf von Synchronmotoren .....	119
5.4.4	Der Synchronisierungsvorgang .....	119
5.5	Zusammenstellung der wichtigsten Beziehungen .....	120
5.6	Beispiele .....	121
<b>6</b>	<b>Wechselstrommaschinen .....</b>	<b>126</b>
6.1	Die Einphasen-Reihenschlussmaschine .....	126
6.2	Die Einphasen-Asynchronmaschine .....	127
6.3	Die Einphasen-Synchronmaschine .....	128
<b>7</b>	<b>Elektronische Antriebstechnik .....</b>	<b>130</b>
7.1	Einführung .....	130
7.2	Bauelemente der Leistungselektronik .....	131
7.2.1	Dioden .....	131
7.2.2	Thyristoren .....	133
7.2.3	Schutz der Dioden und Thyristoren .....	134
7.2.4	SIPMOS-Transistoren .....	135
7.2.5	IGBT .....	136
7.3	Betrachtungen der Leistungselektronik .....	138
7.3.1	Gleichrichterschaltungen .....	138
7.3.2	Ungesteuerte Gleichrichter .....	139
7.3.2.1	Einpulsgleichrichter .....	140
7.3.2.2	Zweipulsgleichrichter (M2, B2) .....	140
7.3.2.3	Dreipulsmittelpunktschaltung (M3) .....	142
7.3.2.4	Drehstrombrückenschaltung (B6) .....	143
7.3.3	Gesteuerte Gleichrichter .....	144
7.3.3.1	Thyristor im Halbwellenbereich .....	144

7.3.3.2	Gesteuerter Einweggleichrichter bei ohmsch-induktiver Last .....	146
7.3.3.3	Gesteuerter Brückengleichrichter bei induktiv-ohmscher Last .....	147
7.3.3.4	Gesteuerte Dreipulsmittelpunktschaltung bei induktiv-ohmscher Last .....	149
7.3.3.5	Gesteuerte Drehstrombrückenschaltung bei induktiv-ohmscher Last .....	152
7.4	Übersicht Elektronische Antriebstechnik .....	154
7.5	Elektronische Steuerung von GS-Maschinen.....	157
7.5.1	GS-Maschinen am AC-Netz .....	158
7.5.1.1	Anlassen von Gleichstrom-Motoren über Stromrichter .....	158
7.5.1.2	Drehzahlsteuerung von Gleichstrommaschinen.....	161
7.5.2	GS-Maschinen am DC-Netz .....	167
7.5.3	Beispielaufgaben .....	171
7.6	Elektronische Steuerung von Drehstrom-Asynchron-Motoren .....	173
7.6.1	Allgemeines .....	173
7.6.2	Steuerung der Ständerspannung.....	174
7.6.3	Beeinflussung der Läufergrößen.....	176
7.6.4	Drehzahlsteuerung mit elektronischer Frequenzverstellung .....	179
7.6.4.1	Zwischenkreis-Umrichter .....	181
7.6.4.2	Direktumrichter.....	188
7.6.5	Servoantriebe .....	190
7.6.6	Beispielaufgaben .....	196
<b>8</b>	<b>Ansteuerungen .....</b>	<b>198</b>
<b>9</b>	<b>Repetitorium .....</b>	<b>204</b>
9.1	Verständnisfragen .....	204
9.2	Übungsaufgaben.....	205
<b>Anhang A</b>	<b>Lösungen zu den Aufgaben.....</b>	<b>217</b>
<b>Anhang B</b>	<b>Kennzeichnung der Anschlüsse elektrischer Betriebsmittel .....</b>	<b>220</b>
<b>Sachwortverzeichnis .....</b>		<b>221</b>