

Inhaltsverzeichnis

1	Energie als primäre Antriebsgröße	1
1.1	Die zugeschnittene Größengleichung	2
1.2	Formelsammlung zur Energieumwandlung	5
1.3	Mechanische Energie	8
1.4	Chemische Energie	11
1.4.1	Das Periodensystem	12
1.5	Nukleare Energie	18
1.6	Elektrische und magnetische Feldenergie	18
1.7	Gravitationsenergie	19
1.8	Solarenergie	19
1.9	Übungsaufgaben zu Kap. 1	20
	Literatur	22
2	Elektrochemische Energiespeicher und -wandler	23
2.1	Akkumulatoren	23
2.1.1	AGM- und Gel-Technologie	26
2.2	Die Brennstoffzelle	27
2.3	Kondensatoren	30
2.3.1	Technische Ausführungen	31
2.4	Lithiumionen-Akkumulator	34
2.5	Aluminium Luft-Batterie	35
2.6	Zink-Luft-Akkumulator	38
2.6.1	Entladung	38
2.6.2	Ladung	39
2.7	Übungsaufgaben	39
3	Transformatoren	43
3.1	Magnetfeldgleichungen	43
3.1.1	Das Durchflutungsgesetz	43
3.1.2	Die magnetische Flussdichte B	45

3.1.3	Der magnetische Fluss ϕ	45
3.1.4	Der magnetische Widerstand R_m	45
3.1.5	Das „Ohmsche Gesetz“ für Magnetkreise	46
3.1.6	Fremdinduktion	46
3.1.7	Selbstinduktion	47
3.2	Gekoppelte Spulen	50
3.2.1	Idealer Übertrager	50
3.2.2	Transformator mit Streufluss	51
3.3	Spannungsgleichungen des Transformators	51
3.4	Ersatzschaltbilder für Transformatoren	54
3.4.1	Ersatzschaltbild des idealen Transformators	54
3.4.2	Ersatzschaltbild des realen Transformators	54
3.4.3	Zeigerbild des Transformators	56
3.5	Verluste eines Transformators	57
3.5.1	Verluste im Leerlauf	57
3.5.2	Ströme und Verluste im Kurzschluss	59
3.6	Dreiphasenspannungssysteme	60
3.6.1	Einphasen-Spannungsversorgung mit Schutzkontakt	60
3.6.2	Dreiphasen-Spannungsversorgung	61
3.6.2.1	Symmetrische Last	63
3.6.3	Leistung im Dreiphasensystem	64
3.6.3.1	Symmetrische Last in Sternschaltung	64
3.6.3.2	Symmetrische Last in Dreieckschaltung	64
3.6.3.3	Leistung bei unsymmetrischer Last	65
3.7	Technische Ausführungen von Transformatoren	68
3.7.1	Wirbelstromunterdrückung in Transformatoren	68
3.7.2	Kerntransformator (Abb. 3.38)	69
3.7.3	Manteltransformator	69
3.7.4	Ringkerntransformator	69
3.7.5	Der Spartransformator	69
3.7.6	Der Trenntransformator	71
3.7.7	Transformator mit Mittelanzapfung	71
3.7.8	Drehstromtransformatoren	72
3.8	Magnetische Abschirmung	73
3.9	Drosselwirkung von Spulen	74
3.10	Übungsaufgaben zu Kap. 3	76
4	Analoge Elektrische Maschinen	81
4.1	Zählpeilsysteme	81

4.2	Elektromechanische Energiewandler	81
4.2.1	Energiedichte des elektrischen Feldes	82
4.2.2	Energiedichte des magnetischen Feldes	82
4.3	Kraft und Drehmomenterzeugung in einer elektrischen Maschine . . .	83
4.4	Der Linearmotor	85
4.4.1	Linearmotor in Anwendungen	86
4.5	Die Drehfeldmaschine	88
4.5.1	Konstruktionsbegriffe elektrischer Maschinen	88
4.6	Die Asynchronmaschine	91
4.6.1	Ersatzschaltbild der Asynchronmaschine mit Kurzschlussläufer	93
4.6.2	Ortskurve des Ständerstromes der Asynchronmaschine	95
4.6.3	Betriebszustände der Asynchronmaschine	99
4.6.3.1	Der optimale Betriebspunkt der Asynchronmaschine	101
4.6.4	Drehmoment und Leistung der Asynchronmaschine	101
4.6.5	Drehzahlstellung der Asynchronmaschine	107
4.6.5.1	Wechselrichter	109
4.6.5.2	Pulsgesteuerter Wechselrichter	110
4.6.6	Übungsaufgaben zur Asynchronmaschine	112
4.7	Die Synchronmaschine	118
4.7.1	Das Ersatzschaltbild der Synchronmaschine	119
4.7.2	Betriebszustände der Synchronmaschine	120
4.7.3	Leistung und Drehmoment der Synchronmaschine	121
4.7.4	Klauenpolsynchrongenerator (Lichtmaschine)	122
4.8	Die Gleichstrommaschine	124
4.8.1	Generatorbetrieb	124
4.8.2	Motorbetrieb	125
4.9	Einphasen-Kommutatormotor	128
4.10	Leistungsfluss in elektrischen Maschinen	129
	Literatur	130
5	Digitale Elektrische Maschinen	131
5.1	Der Reluktanzmotor	131
5.2	Asynchron-Reluktanzmotor	135
5.3	Transversalfeldmotor	136
5.4	Bürstenloser Gleichstrommotor	139
5.4.1	Aufbau des BLDC-Motors	139
5.4.2	Statorströme des BLDC-Motors	140
5.4.3	Regelung des BLDC-Motors mit Hallsensoren	142
5.4.4	Sensorlose Regelung des BLDC-Motors	146

5.5	Schrittmotoren	147
5.5.1	Der permanenterregte Schrittmotor	148
5.5.2	Das Mikroschrittverfahren	148
5.5.3	Reluktanzschrittmotoren	153
5.5.4	Hybridschrittmotoren	154
5.6	Servomotoren	155
5.7	Übungsaufgaben zu Synchron- und Gleichstrommaschine	158
	Literatur	161
6	Antriebssysteme	163
6.1	Antriebskonzept einer E-Lok	163
6.2	Die Magnetschwebbahn	166
6.2.1	Der Transrapid	166
6.2.2	Die Japanische Magnetschwebbahn „Supraleitender Maglev“	168
6.3	Elektromechanisches KERS – Kinetic Energy Restoring System	171
6.4	E-Antrieb in einem PKW	173
6.5	Ausblick E-Antriebe in Luftfahrzeugen	174
6.6	Übungsaufgabe zu Kap. 6	175
6.7	Allgemeine Prüfungsfragen	177
7	Anhang	181
7.1	Komplexe Leistung	182
7.2	Ortskurven	182
7.3	Lösungen zu den Übungsaufgaben	186
7.4	Lösungen zu Abschn. 6.7 Allgemeine Prüfungsfragen	209
7.5	Werkstoffdaten	210
	Periodensystem	211
	Literatur	215
	Stichwortverzeichnis	217