

Gerhard Babel

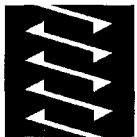
# Elektrische Antriebe in der Fahrzeugtechnik

Lehr- und Arbeitsbuch

2., verbesserte und erweiterte Auflage

Mit 157 Abbildungen, 7 Tabellen und 34 Übungsaufgaben

STUDIUM



**VIEWEG+**  
**TEUBNER**

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort .....	V
Formelzeichen und Abkürzungen .....	XI
<b>1 Energie als primäre Antriebsgröße .....</b>	<b>1</b>
1.1 Die zugeschnittene Größengleichung .....	1
1.2 Formelsammlung zur Energieumwandlung .....	4
1.3 Mechanische Energie .....	8
1.4 Chemische Energie .....	10
1.4.1 Das Periodensystem .....	10
1.5 Nukleare Energie .....	17
1.6 Elektrische und magnetische Feldenergie .....	17
1.7 Gravitationsenergie .....	18
1.8 Solarenergie .....	18
1.9 Übungsaufgaben zu Kapitel 1 .....	20
▶ Aufgabe 1.1 .....	20
▶ Aufgabe 1.2 .....	20
▶ Aufgabe 1.3 .....	20
▶ Aufgabe 1.4 .....	21
▶ Aufgabe 1.5 .....	21
<b>2 Elektrochemische Energiespeicher und -wandler .....</b>	<b>23</b>
2.1 Akkumulatoren .....	23
2.1.1 AGM- und Gel-Technologie .....	25
2.2 Die Brennstoffzelle .....	26
2.3 Kondensatoren .....	30
Technische Ausführungen .....	33
2.4 Lithiumionen-Akkumulator .....	33
2.5 Übungsaufgaben zu Kapitel 2 .....	36
▶ Aufgabe 2.1 .....	36
▶ Aufgabe 2.2 .....	36
▶ Aufgabe 2.3 .....	36
▶ Aufgabe 2.4 .....	36
▶ Aufgabe 2.5 .....	37
▶ Aufgabe 2.6 .....	37
<b>3 Transformatoren .....</b>	<b>39</b>
3.1 Magnetfeldgleichungen .....	39
3.1.1 Das Durchflutungsgesetz .....	39
3.1.2 Die magnetische Flussdichte $B$ .....	39

3.1.3	Der magnetische Fluss $\phi$ .....	40
3.1.4	Der magnetische Widerstand $R_m$ .....	40
3.1.5	Das „Ohmsche Gesetz“ für Magnetkreise .....	40
3.1.6	Fremdinduktion .....	40
3.1.7	Selbstinduktion .....	41
3.2	Gekoppelte Spulen .....	44
3.2.1	Idealer Übertrager .....	45
3.2.2	Transformator mit Streufluss .....	45
3.3	Spannungsgleichungen des Transformators .....	46
3.4	Ersatzschaltbilder für Transformatoren .....	48
3.4.1	Ersatzschaltbild des idealen Transformators .....	48
3.4.2	Ersatzschaltbild des realen Transformators .....	49
3.4.3	Zeigerbild des Transformators .....	50
3.5	Verluste eines Transformators .....	51
3.5.1	Verluste im Leerlauf .....	51
3.5.2	Ströme und Verluste im Kurzschluss .....	53
3.6	Dreiphasenspannungssysteme .....	53
3.6.1	Einphasen-Spannungsversorgung mit Schutzkontakt .....	53
3.6.2	Dreiphasen-Spannungsversorgung .....	54
	Vorteile des Dreiphasensystems .....	57
3.6.2.1	Symmetrische Last .....	57
3.6.3	Leistung im Dreiphasensystem .....	58
3.6.3.1	Symmetrische Last in Sternschaltung .....	58
3.6.3.2	Symmetrische Last in Dreieckschaltung .....	58
3.6.3.3	Leistung bei unsymmetrischer Last .....	59
3.7	Technische Ausführungen von Transformatoren .....	61
3.7.1	Wirbelstromunterdrückung in Transformatoren .....	61
3.7.2	Manteltransformator .....	62
3.7.3	Kerntransformator .....	62
3.7.4	Ringkerntransformator .....	63
3.7.5	Der Spartransformator .....	63
3.7.6	Der Trenntransformator .....	64
3.7.7	Transformator mit Mittelanzapfung .....	65
3.7.8	Drehstromtransformatoren .....	65
3.8	Magnetische Abschirmung .....	66
3.9	Drosselwirkung von Spulen .....	67
3.10	Übungsaufgaben zu Kapitel 3 .....	70
	▶ Aufgabe 3.1 .....	70
	▶ Aufgabe 3.2 .....	70
	▶ Aufgabe 3.3 .....	71
	▶ Aufgabe 3.4 .....	72
	▶ Aufgabe 3.5 .....	72
	▶ Aufgabe 3.6 .....	73
	▶ Aufgabe 3.7 .....	73

<b>4 Elektrische Maschinen</b> .....	75
4.1 Zählfeilsysteme .....	75
4.2 Elektromechanische Energiewandler .....	75
4.2.1 Energiedichte des elektrischen Feldes .....	75
4.2.2 Energiedichte des magnetischen Feldes .....	76
4.3 Kraft und Drehmomentenerzeugung in einer elektrischen Maschine .....	76
4.4 Der Linearmotor .....	78
4.4.1 Linearmotor in Anwendungen .....	79
4.5 Die Drehfeldmaschine .....	80
4.5.1 Konstruktionsbegriffe elektrischer Maschinen .....	80
4.6 Die Asynchronmaschine .....	83
4.6.1 Ersatzschaltbild der Asynchronmaschine mit Kurzschlussläufer .....	85
4.6.2 Ortskurve des Ständerstromes der Asynchronmaschine .....	87
4.6.3 Betriebszustände der Asynchronmaschine .....	91
4.6.3.1 Der optimale Betriebspunkt der Asynchronmaschine .....	92
4.6.4 Drehmoment und Leistung der Asynchronmaschine .....	93
4.6.5 Drehzahlstellung der Asynchronmaschine .....	99
4.6.5.1 Wechselrichter .....	102
4.6.5.2 Pulsgesteuerter Wechselrichter .....	103
4.6.6 Übungsaufgaben zur Asynchronmaschine .....	106
▶ Aufgabe 4.1 .....	106
▶ Aufgabe 4.2 .....	107
▶ Aufgabe 4.3 .....	108
▶ Aufgabe 4.4 .....	109
▶ Aufgabe 4.5 .....	109
▶ Aufgabe 4.6 .....	109
▶ Aufgabe 4.7 .....	110
▶ Aufgabe 4.8 .....	110
▶ Aufgabe 4.9 .....	111
4.7 Die Synchronmaschine .....	112
4.7.1 Das Ersatzschaltbild der Synchronmaschine .....	113
4.7.2 Betriebszustände der Synchronmaschine .....	114
4.7.3 Leistung und Drehmoment der Synchronmaschine .....	116
4.7.4 Klauenpolsynchron-generator (Lichtmaschine) .....	117
4.8 Die Gleichstrommaschine .....	118
4.8.1 Generatorbetrieb .....	118
4.8.2 Motorbetrieb .....	119
4.9 Einphasen-Kommutatormotor .....	122
4.10 Leistungsfluss in elektrischen Maschinen .....	123
4.11 Der Reluktanzmotor .....	124
4.12 Asynchron-Reluktanzmotor .....	128
4.13 Transversalflussmotor .....	129
4.14 Bürstenloser Gleichstrommotor .....	131
4.14.1 Aufbau des BLDC-Motors .....	131
4.14.2 Statorströme des BLDC-Motors .....	132
4.14.3 Regelung des BLDC-Motors mit Hallsensoren .....	134
4.14.4 Sensorlose Regelung des BLDC-Motors .....	139

4.15 Übungsaufgaben zu Synchron- und Gleichstrommaschine .....	140
▶ Aufgabe 4.10 .....	140
▶ Aufgabe 4.11 .....	141
▶ Aufgabe 4.12 .....	141
▶ Aufgabe 4.13 .....	142
▶ Aufgabe 4.14 .....	142
▶ Aufgabe 4.15 .....	143
<b>5 Antriebssysteme .....</b>	<b>145</b>
5.1 Antriebskonzept einer E-Lok .....	145
5.2 Die Magnetschwebbahn .....	149
5.2.1 Der Transrapid .....	149
5.2.2 Die Japanische Magnetschwebbahn „Supraleitender Maglev“ .....	150
5.3 Übungsaufgabe zu Kapitel 5 .....	153
▶ Aufgabe 5.1 .....	153
5.4 Allgemeine Prüfungsfragen .....	154
<b>6 Anhang .....</b>	<b>157</b>
6.1 Komplexe Leistung .....	157
6.2 Ortskurven .....	158
6.3 Lösungen zu den Übungsaufgaben .....	163
Lösungen zu 5.4 Allgemeine Prüfungsfragen .....	185
6.4 Werkstoffdaten .....	186
<b>Periodensystem der Elemente .....</b>	<b>188</b>
Literaturverzeichnis .....	191
Sachwortverzeichnis .....	193