

# Inhaltsverzeichnis

<b>Teil A: Grundlagen der Elektrotechnik</b> .....	1
<b>1 Das elektrische Feld</b> .....	1
1.1 Feldbegriff. Darstellung von Feldern .....	1
1.2 Das stationäre elektrische Strömungsfeld .....	2
1.2.1 Ladung. Strom. Stromdichte .....	2
1.2.2 Potenzial. Spannung. Feldstärke .....	7
1.2.3 Elektrischer Widerstand. Ohmsches Gesetz .....	12
1.2.4 Der elektrische Stromkreis .....	14
1.2.5 Die Gesetze von Kirchhoff .....	16
1.3 Das elektrostatische Feld .....	18
1.3.1 Entwicklung aus dem Strömungsfeld .....	18
1.3.2 Kenngrößen des elektrostatischen Feldes .....	20
1.3.3 Kapazität. Kondensatoren .....	21
1.3.4 Kondensatorstrom .....	22
1.3.5 Energie und Kräfte im elektrostatischen Feld .....	24
1.4 Übungsaufgaben .....	25
<b>2 Das magnetische Feld</b> .....	27
2.1 Magnetische Erscheinungen .....	27
2.2 Magnetische Kenngrößen .....	29
2.2.1 Magnetischer Fluss und magnetische Flussdichte .....	29
2.2.2 Durchflutung. Magnetische Spannung. Magnetischer Widerstand .....	30
2.2.3 Die magnetische Feldstärke .....	32
2.3 Das Durchflutungsgesetz .....	33
2.4 Materie im Magnetfeld .....	36
2.4.1 Die Permeabilität. Einteilung der Stoffe .....	36
2.4.2 Hystereseschleife und Magnetisierungskurve .....	37
2.5 Das Induktionsgesetz .....	41
2.5.1 Grundlagen. Der Versuch von Faraday .....	41
2.5.2 Anwendungen des Induktionsgesetzes .....	47
2.6 Selbst- und Gegeninduktion .....	49
2.6.1 Selbstinduktion .....	49
2.6.2 Gegeninduktion .....	52
2.7 Energie und Kräfte im magnetischen Feld .....	54
2.7.1 Energieinhalt des Magnetfeldes .....	54
2.7.2 Kraftwirkungen im magnetischen Feld .....	54
2.7.2.1 Kräfte an Grenzflächen .....	54
2.7.2.2 Kräfte auf stromdurchflossene Leiter .....	55
2.8 Übungsaufgaben .....	57

<b>3</b>	<b>Berechnung von Stromkreisen bei Gleichstrom</b>	<b>61</b>
3.1	Der unverzweigte Gleichstromkreis	61
3.1.1	Der elektrische Widerstand	61
3.1.2	Lineare und nichtlineare Widerstände	62
3.1.3	Energie und Leistung im Gleichstromkreis	63
3.1.4	Der Grundstromkreis	64
3.1.5	Leistungsumsatz im Stromkreis	68
3.2	Der verzweigte Gleichstromkreis	70
3.2.1	Vereinfachung von Widerstandsnetzwerken	70
3.2.2	Teilerregeln	74
3.2.2.1	Die Stromteilerregel	74
3.2.2.2	Die Spannungsteilerregel	75
3.2.3	Berechnung verzweigter Stromkreise mittels der Gesetze von Kirchhoff	77
3.2.4	Spannungsquellen und Stromquellen. Zweipoltheorie	80
3.3	Übungsaufgaben	81
<b>4</b>	<b>Berechnung von Stromkreisen bei Wechselstrom</b>	<b>84</b>
4.1	Erzeugung von Wechselstrom. Bestimmungsgrößen	84
4.2	Kenngrößen	85
4.2.1	Zeitliche Mittelwerte	85
4.2.2	Zählpeile	88
4.3	Darstellung sinusförmiger elektrischer Größen im Zeigerdiagramm	89
4.4	Spannungs- und Stromzeiger bei den Grundschaltelementen	90
4.5	Zeigerdiagramme bei gemischten Wechselstromschaltungen	91
4.5.1	Reihenschaltung von Kondensator und Widerstand	91
4.5.2	Parallelschaltung von Spule und Widerstand	93
4.5.3	Gemischte Schaltung	93
4.6	Die komplexe Darstellung von Zeigern	94
4.7	Komplexe Zeiger der Grundschaltelemente	96
4.8	Komplexer Widerstand und komplexer Leitwert	99
4.8.1	Komplexer Widerstand	99
4.8.2	Komplexer Leitwert	103
4.9	Wirk- und Blindkomponenten von Spannung und Strom	104
4.10	Wechselstromleistung	105
4.11	Drehstrom (Dreiphasenwechselstrom)	110
4.11.1	Erzeugung von Drehstrom	110
4.11.2	Die Verkettung des Drehstromsystems	112
4.11.3	Spannungen und Ströme im symmetrischen Drehstromsystem	114
4.11.4	Drehstromleistung	117
4.12	Übungsaufgaben	118
<b>5</b>	<b>Ausgleichsvorgänge in Stromkreisen</b>	<b>123</b>
5.1	Die Schaltgesetze	123
5.2	Aufladung eines Kondensators	124
5.3	Kurzschluss einer stromdurchflossenen Spule	127
5.4	Schlussbemerkungen	129
5.6	Übungsaufgaben	129

<b>6 Mechanismen der Stromleitung</b>	130
6.1 Stromleitung im Vakuum	130
6.2 Stromleitung in Gasen	132
6.3 Stromleitung in Flüssigkeiten	134
6.4 Stromleitung in Festkörpern	139
6.4.1 Allgemeines	139
6.4.2 Stromleitung in Metallen	141
6.4.3 Stromleitung in Halbleitern und Isolatoren	142
6.4.3.1 Eigenleitung	142
6.4.3.2 Störstellenleitung	144
6.4.3.3 Bändermodell	146
6.4.3.4 Der $pn$ -Übergang	148
6.5 Übungsaufgaben	150
<b>Teil B: Anwendungen der Elektrotechnik</b>	152
<b>7 Elektronik</b>	152
7.1 Einleitende Bemerkungen	152
7.2 Elektronische Bauelemente	153
7.2.1 Halbleiterwiderstände	153
7.2.2 Halbleiterdioden	155
7.2.2.1 Aufbau, Kennlinien, Typen	155
7.2.2.2 Diode als Gleichrichter	158
7.2.3 Transistoren	160
7.2.3.1 Bipolartransistoren	160
7.2.3.2 Feldeffekttransistoren	165
7.2.3.3 Insulated Gate Bipolar Transistors (IGBTs)	168
7.2.3.4 Betriebsarten von Transistoren	169
7.2.3.5 Transistoren als Verstärker	170
7.2.3.6 Transistoren als Schalter	173
7.2.4 Thyristoren	175
7.2.4.1 Aufbau und Wirkungsweise, Typen	175
7.2.4.2 Thyristoren als gesteuerte Gleichrichter	177
7.2.5 Optoelektronische Bauelemente	181
7.2.5.1 Lichtempfangende Bauelemente	181
7.2.5.2 Lichtaussendende Bauelemente	182
7.2.5.3 Andere optoelektronische Bauelemente	184
7.3 Leistungselektronik	185
7.3.1 Einführung, Arten und Wirkungsweise von Stromrichtern	185
7.3.2 Gleichrichter	188
7.3.2.1 Gleichrichter mit Dioden (Ungesteuerte Gleichrichter)	188
7.3.2.2 Gleichrichter mit Thyristoren (Gesteuerte Gleichrichter)	190
7.3.3 Wechselrichter	197
7.3.4 Gleichstromumrichter	199
7.3.5 Wechselstromumrichter, Frequenzumrichter	200
7.4 Informationselektronik	202
7.4.1 Einführung	202

## XII Inhaltsverzeichnis

7.4.2	Analoge und digitale Größen und Signale .....	203
7.4.3	Analogschaltungen .....	206
7.4.3.1	Wechselspannungsverstärker .....	206
7.4.3.2	Operationsverstärker .....	207
7.4.3.3	Schwingungserzeuger .....	210
7.4.4	Digitalschaltungen .....	210
7.4.4.1	Kombinatorische Schaltungen .....	211
7.4.4.2	Sequenzielle Schaltungen .....	214
7.5	Mikroelektronik .....	219
7.5.1	Schaltungsintegration .....	219
7.5.2	Schaltkreisfamilien .....	221
7.5.3	Mikroprozessoren und Mikrorechner .....	223
7.5.3.1	Komponenten des Mikrorechnersystems .....	223
7.5.3.2	Mikrorechner als Prozessrechner .....	231
7.5.3.3	Weitere Ergebnisse der Mikrorechentechnik .....	236
7.6	Übungsaufgaben .....	237
<b>8</b>	<b>Elektrische Maschinen und Antriebe .....</b>	<b>241</b>
8.1	Einleitung .....	241
8.2	Die Gleichstrommaschine .....	242
8.2.1	Aufbau und Funktionsprinzip .....	242
8.2.2	Erregung der Gleichstrommaschine .....	244
8.2.3	Der Gleichstromnebenschlussmotor .....	245
8.2.3.1	Ersatzschaltbild und Kennlinien .....	245
8.2.3.2	Drehzahlstellung .....	248
8.2.3.3	Anlassen und Bremsen .....	249
8.2.4	Der Gleichstromreihenschlussmotor .....	252
8.2.5	Spezielle Typen .....	253
8.3	Der Transformator .....	253
8.3.1	Grundsätzlicher Aufbau und Funktionsprinzip .....	253
8.3.2	Der ideale Transformator .....	254
8.3.2.1	Definition und Ersatzschaltbild .....	254
8.3.2.2	Induzierte Spannung und Klemmenspannung .....	255
8.3.2.3	Zeigerdiagramme und Wirkungsweise .....	256
8.3.2.4	Widerstandstransformation .....	259
8.3.3	Der technische Transformator .....	260
8.3.3.1	Ersatzschaltbild .....	260
8.3.3.2	Spezielle Betriebsfälle .....	262
8.3.3.3	Betriebsverhalten .....	265
8.3.4	Drehstromtransformatoren .....	268
8.3.5	Spezielle Transformatortypen .....	270
8.4	Rotierende Drehstrommaschinen .....	271
8.4.1	Das Drehfeld .....	271
8.4.2	Arten von Drehfeldmaschinen .....	273
8.4.3	Der Drehstromasynchronmotor .....	275
8.4.3.1	Aufbau .....	275
8.4.3.2	Ersatzschaltbild .....	277

8.4.3.3	Drehzahl-Drehmomenten-Kennlinie .....	278
8.4.3.4	Drehzahlstellung .....	280
8.4.3.5	Anlassen von Asynchronmotoren .....	282
8.4.3.6	Spezielle Typen von Asynchronmotoren .....	283
8.4.4	Die Synchronmaschine .....	284
8.4.4.1	Ersatzschaltbild .....	284
8.4.4.2	Betrieb am starren Drehstromnetz .....	285
8.4.4.3	Inselbetrieb des Synchrongenerators .....	290
8.4.4.4	Spezielle Typen von Synchronmotoren .....	291
8.5	Elektrische Antriebstechnik .....	292
8.5.1	Mechanische Struktur elektrischer Antriebe .....	292
8.5.2	Grundgesetze elektrischer Antriebe .....	293
8.5.2.1	Die Bewegungsgleichung .....	293
8.5.2.2	Stabilität stationärer Arbeitspunkte .....	296
8.5.2.3	Wellenlast bei Übertragungsgliedern .....	296
8.5.3	Betriebsarten elektrischer Maschinen .....	298
8.5.3.1	Motorwicklungserwärmung .....	298
8.5.3.2	Nennbetriebsarten .....	299
8.5.3.3	Motorauswahl .....	300
8.5.4	Ein- und Mehrquadrantenantriebe .....	302
8.5.5	Regelung elektrischer Antriebe .....	304
8.5.6	Ergänzende Bemerkungen .....	306
8.6	Übungsaufgaben .....	307
<b>9</b>	<b>Elektrische Energieversorgung .....</b>	<b>310</b>
9.1	Einleitung .....	310
9.2	Überblick zu Kraftwerken .....	311
9.2.1	Konventionelle Kraftwerke .....	311
9.2.2	Kraftwerke mit erneuerbaren Energien .....	314
9.2.3	Einsatzstrategien von Kraftwerken .....	320
9.3	Elektrotechnische Komponenten eines Kraftwerkes .....	321
9.4	Übertragungssysteme für elektrische Energie .....	325
9.5	Drehstromnetze .....	326
9.5.1	Spannungsebenen .....	326
9.5.2	Drehstromleitungen .....	327
9.5.2.1	Die Leitungsgleichungen .....	327
9.5.2.2	Übertragung auf Hoch- und Höchstspannungsleitungen (Fernübertragung) .....	329
9.5.2.3	Übertragung auf Mittel- und Niederspannungsleitungen .....	332
9.5.2.4	Praktische Ausführung von Drehstromleitungen .....	336
9.5.3	Netzgestaltung .....	340
9.5.3.1	Sternpunktbehandlung in Drehstromnetzen .....	340
9.5.3.2	Netzstrukturen .....	342
9.6	Schaltanlagen .....	343
9.6.1	Arten von Schaltanlagen .....	343
9.6.2	Schaltgeräte der elektrischen Energietechnik .....	344
9.6.2.1	Schalten von Wechselstrom .....	344

9.6.2.2	Niederspannungsschaltgeräte .....	346
9.6.2.3	Schaltgeräte für Spannungen > 1000 V .....	348
9.6.2.4	Hochleistungssicherungen .....	348
9.6.3	Praktische Ausführung von Schaltanlagen .....	349
9.7	Personenschutz in Niederspannungsnetzen .....	351
9.7.1	Gefährdung des Menschen .....	351
9.7.2	Schutzmaßnahmen .....	352
9.8	Übungsaufgaben .....	355
<b>10</b>	<b>Elektrische Messtechnik .....</b>	<b>357</b>
10.1	Einleitung .....	357
10.2	Grundlegende Begriffe der elektrischen Messtechnik .....	357
10.3	Elektrische Messwerke .....	360
10.3.1	Drehspulmesswerk .....	360
10.3.2	Dreheisenmesswerk .....	361
10.3.3	Elektrodynamisches Messwerk .....	362
10.3.4	Induktionsmesswerk .....	362
10.4	Messgeräte .....	363
10.4.1	Vielfachmesser .....	363
10.4.2	Oszilloskope .....	365
10.4.3	Registriergeräte .....	368
10.4.4	Zählmessgeräte .....	371
10.5	Messverfahren für elektrische Größen .....	372
10.5.1	Messung von Strom und Spannung .....	372
10.5.2	Messung von Widerständen und Impedanzen .....	373
10.5.3	Messung der elektrischen Leistung .....	375
10.5.4	Zeit- und Frequenzmessung .....	376
10.6	Elektrische Messung nichtelektrischer Größen .....	377
10.6.1	Allgemeines .....	377
10.6.2	Messung von Wegen und Winkeln .....	378
10.6.3	Messung von Kräften und Momenten .....	379
10.6.4	Drehzahlmessung .....	381
10.6.5	Temperaturmessung .....	382
10.7	Messtechnik mit dem PC .....	383
10.7.1	Einleitende Bemerkungen .....	383
10.7.2	Geräte mit integrierter digitaler Schnittstelle .....	384
10.7.3	Messkarten .....	387
10.8	Störbeeinflussung von Messkreisen .....	392
10.9	Elektromagnetische Verträglichkeit .....	393
10.10	Übungsaufgaben .....	395
	<b>Lösungen der Übungsaufgaben .....</b>	<b>397</b>
	<b>Zusammenstellung der Formelzeichen .....</b>	<b>414</b>
	<b>Literatur .....</b>	<b>416</b>
	<b>Sachwortverzeichnis .....</b>	<b>418</b>