

<b>1</b>	<b>Elektrischer Strom</b>	1
1.1	Der Aufbau der Materie	2
1.1.1	Stoffe	2
1.1.2	Zusammenfassung: Stoffe	3
1.1.3	Beispiel zur Zerlegung der Materie	4
1.1.4	Denkmodell für Atom und Molekül	4
1.1.5	Der Atombau	6
1.1.6	Zusammenfassung: Der Atombau	8
1.2	Elektrische Ladung und elektrischer Strom	9
1.2.1	Elektrische Ladung	9
1.2.2	Elektrischer Strom	10
1.3	Nichtleiter, Leiter und Halbleiter	11
1.4	Widerstand und Leitfähigkeit	12
1.5	Elektrische Spannung	13
1.6	Zusammenfassung: Der elektrische Strom	15
1.7	Halbleiter	16
1.7.1	Elektrizitätsleitung in festen Stoffen (Wiederholung)	16
1.7.2	Zusammenfassung: Halbleiter	21
<b>2</b>	<b>Der unverzweigte Gleichstromkreis</b>	23
2.1	Größen im Gleichstromkreis	23
2.1.1	Allgemeines zu physikalischen Größen und Einheiten	23
2.1.2	Die Größe für den elektrischen Strom	27
2.1.3	Die Größe für die elektrische Spannung	31
2.1.4	Die Größe für den elektrischen Widerstand	32
2.1.5	Zusammenfassung: Größen im Gleichstromkreis	33
2.2	Das Ohm'sche Gesetz	34
2.2.1	Aussage des ohmschen Gesetzes	34
2.2.2	Rechnen mit dem ohmschen Gesetz	35
2.2.3	Grafische Darstellung des ohmschen Gesetzes	36
2.2.4	Zusammenfassung: Das ohmsche Gesetz	37

2.3	Definitionen . . . . .	37
2.3.1	Gleichstrom, Gleichspannung, Wechselstrom, Wechselspannung . . . . .	37
2.3.2	Verbraucher . . . . .	38
2.3.3	Reihenschaltung . . . . .	39
2.3.4	Parallelschaltung . . . . .	39
2.3.5	Unverzweigter und verzweigter Stromkreis . . . . .	39
2.3.6	Schaltzeichen und Schaltbild . . . . .	40
2.3.7	Werte von Strömen und Spannungen in Schaltbildern . . . . .	42
2.3.8	Kurzschluss . . . . .	46
2.3.9	Passive Bauelemente . . . . .	47
2.3.10	Aktive Bauelemente . . . . .	47
2.3.11	Zusammenfassung: Definitionen . . . . .	47
2.4	Arbeit und Leistung . . . . .	48
2.4.1	Elektrische Arbeit . . . . .	48
2.4.2	Elektrische Leistung . . . . .	49
2.5	Wirkungsgrad . . . . .	51
2.6	Die Stromdichte . . . . .	53
2.6.1	Homogener Stromfluss . . . . .	53
2.6.2	Inhomogener Stromfluss . . . . .	55
2.6.3	Praktische Bedeutung der Stromdichte . . . . .	56
<b>3</b>	<b>Lineare Bauelemente im Gleichstromkreis . . . . .</b>	<b>59</b>
3.1	Definition des Begriffes „linear“ . . . . .	59
3.2	Der ohmsche Widerstand . . . . .	61
3.2.1	Wirkungsweise des Widerstandes . . . . .	62
3.2.2	Spezifischer Widerstand . . . . .	63
3.2.3	Verwendungszweck von Widerständen . . . . .	67
3.2.4	Widerstand als Bauelement . . . . .	69
3.2.5	Zusammenfassung: Der ohmsche Widerstand . . . . .	78
3.3	Der Kondensator . . . . .	79
3.3.1	Wirkungsweise des Kondensators . . . . .	79
3.3.2	Größe für die Kapazität . . . . .	80
3.3.3	Plattenkondensator . . . . .	81
3.3.4	Dielektrikum . . . . .	83
3.3.5	Verwendungszweck von Kondensatoren . . . . .	86
3.3.6	Kondensator als Bauelement . . . . .	90
3.3.7	Kenngrößen von Kondensatoren . . . . .	92
3.3.8	Elektrisches Feld . . . . .	93
3.3.9	Zusammenfassung: Der Kondensator . . . . .	96
3.4	Die Spule . . . . .	96
3.4.1	Grundlagen des Magnetismus . . . . .	96

3.4.2	Zusammenfassung: Grundlagen des Magnetismus . . . . .	99
3.4.3	Elektromagnetismus . . . . .	99
3.4.4	Wirkungsweise der Spule . . . . .	102
3.4.5	Aufbau der Spule . . . . .	113
3.4.6	Verwendungszweck von Spulen . . . . .	115
3.4.7	Spule als Bauelement . . . . .	116
3.4.8	Kenngrößen von Spulen . . . . .	116
3.4.9	Magnetische Kreise . . . . .	117
3.5	Zusammenfassung: Die Spule . . . . .	124
<b>4</b>	<b>Gleichspannungsquellen . . . . .</b>	<b>127</b>
4.1	Primärelemente (galvanische Elemente, Batterien) . . . . .	128
4.1.1	Wirkungsweise des galvanischen Elements . . . . .	128
4.1.2	Batterien . . . . .	129
4.2	Sekundärelemente (Akkumulatoren) . . . . .	130
4.2.1	Der Bleiakkumulator . . . . .	130
4.2.2	Nickel-Cadmium-Akkumulatoren . . . . .	130
4.2.3	Nickel-Metallhydrid- und Lithium-Ionen-Akkumulatoren . . . . .	131
4.2.4	Technische Eigenschaften von Akkumulatoren . . . . .	131
4.3	Netzgeräte . . . . .	132
4.4	Störungsfreie Versorgung mit Gleichspannung . . . . .	133
4.5	Die belastete Gleichspannungsquelle . . . . .	135
4.5.1	Reale Spannungsquelle . . . . .	135
4.5.2	Ermittlung des Innenwiderstandes . . . . .	137
4.5.3	Kurzschlussstrom . . . . .	138
4.5.4	Leerlauf . . . . .	139
4.5.5	Anpassungen . . . . .	139
4.6	Stromquelle . . . . .	141
4.7	Zusammenfassung: Gleichspannungsquellen . . . . .	142
<b>5</b>	<b>Berechnungen im unverzweigten Gleichstromkreis . . . . .</b>	<b>145</b>
5.1	Reihen- und Parallelschaltung von Zweipolen . . . . .	145
5.2	Reihenschaltung von ohmschen Widerständen . . . . .	146
5.3	Reihenschaltung von Kondensatoren . . . . .	151
5.4	Reihenschaltung von Spulen . . . . .	153
5.5	Reihenschaltung von Gleichspannungsquellen . . . . .	153
5.6	Reihenschaltung von Widerständen, Kondensatoren und Spulen . . . . .	154
5.6.1	Zusammenfassung von Bauelementen . . . . .	154
5.6.2	Reihenschaltung von Kondensator und $R$ oder $L$ . . . . .	154
5.6.3	Reihenschaltung einer Spule mit $R$ oder $C$ . . . . .	154
5.7	Reihenschaltung in der Praxis . . . . .	155
5.7.1	Ersatz von Bauteilen . . . . .	155

	5.7.2	Vorwiderstand . . . . .	155
	5.7.3	Spannungsabfall an Leitungen . . . . .	156
	5.7.4	Spannungsteiler . . . . .	157
	5.8	Zusammenfassung: Berechnungen im unverzweigten Gleichstromkreis	157
<b>6</b>		<b>Messung von Spannung und Strom . . . . .</b>	<b>159</b>
	6.1	Voltmeter und Amperemeter . . . . .	159
	6.2	Erweiterung des Messbereiches eines Voltmeters . . . . .	163
	6.3	Indirekte Messung von Widerstand und Leistung . . . . .	164
<b>7</b>		<b>Schaltvorgänge im unverzweigten Gleichstromkreis . . . . .</b>	<b>165</b>
	7.1	Schaltvorgang beim ohmschen Widerstand . . . . .	166
	7.1.1	Widerstand einschalten . . . . .	166
	7.1.2	Widerstand ausschalten . . . . .	166
	7.2	Schaltvorgang beim Kondensator . . . . .	167
	7.2.1	Kondensator laden (einschalten) . . . . .	167
	7.2.2	Kondensator ausschalten . . . . .	169
	7.2.3	Kondensator entladen . . . . .	170
	7.2.4	Exponentialfunktion von Spannung und Strom . . . . .	171
	7.3	Schaltvorgang bei der Spule . . . . .	175
	7.3.1	Spule einschalten . . . . .	175
	7.3.2	Spule ausschalten (mit Abschalt-Induktionsstromkreis) . . . . .	177
	7.3.3	Spule ausschalten (ohne Abschalt-Induktionsstromkreis) . . . . .	179
	7.3.4	Zeitverlauf von Spannung und Strom . . . . .	182
	7.4	Zusammenfassung: Schaltvorgänge im unverzweigten Gleichstromkreis . . . . .	183
<b>8</b>		<b>Der verzweigte Gleichstromkreis . . . . .</b>	<b>185</b>
	8.1	Die Kirchhoff'schen Gesetze . . . . .	186
	8.1.1	Die Knotenregel (1. Kirchhoff'sches Gesetz) . . . . .	186
	8.1.2	Die Maschenregel (2. Kirchhoff'sches Gesetz) . . . . .	187
	8.2	Berechnung von Parallelschaltungen . . . . .	188
	8.2.1	Parallelschaltung von ohmschen Widerständen . . . . .	188
	8.2.2	Die Stromteilerregel . . . . .	190
	8.2.3	Parallelschaltung von Kondensatoren . . . . .	192
	8.2.4	Parallelschaltung von Spulen . . . . .	192
	8.2.5	Parallelschaltung von Gleichspannungsquellen . . . . .	193
	8.3	Parallelschaltung in der Praxis . . . . .	194
	8.3.1	Ersatz von Bauteilen . . . . .	194
	8.3.2	Erweiterung des Messbereiches eines Amperemeters . . . . .	194
	8.3.3	Der belastete Spannungsteiler . . . . .	196
	8.3.4	Berechnung des belasteten Spannungsteilers . . . . .	197

8.4	Gemischte Schaltungen . . . . .	199
8.5	Stern-Dreieck- und Dreieck-Stern-Umwandlung . . . . .	201
8.6	Umwandlung von Quellen . . . . .	204
8.7	Analyse von Netzwerken . . . . .	205
	8.7.1 Die Maschenanalyse . . . . .	207
	8.7.2 Die Knotenanalyse . . . . .	214
	8.7.3 Der Überlagerungssatz . . . . .	217
	8.7.4 Der Satz von der Ersatzspannungsquelle . . . . .	220
	8.7.5 Bestimmung des Innenwiderstandes eines Netzwerkes . . . . .	226
8.8	Vierpole . . . . .	228
8.9	Zusammenfassung: Der verzweigte Gleichstromkreis . . . . .	229
<b>9</b>	<b>Wechselspannung und Wechselstrom . . . . .</b>	<b>231</b>
9.1	Grundlegende Betrachtungen . . . . .	231
9.2	Entstehung der Sinuskurve, Liniendiagramm . . . . .	238
9.3	Relevanz sinusförmiger Wechselgrößen . . . . .	240
9.4	Kennwerte von Wechselgrößen . . . . .	242
	9.4.1 Periodendauer . . . . .	242
	9.4.2 Frequenz . . . . .	242
	9.4.3 Kreisfrequenz . . . . .	243
	9.4.4 Wellenlänge . . . . .	244
	9.4.5 Amplitude . . . . .	244
	9.4.6 Spitze-Spitze-Wert . . . . .	245
	9.4.7 Effektivwert . . . . .	245
	9.4.8 Gleichrichtwert . . . . .	249
	9.4.9 Nullphasenwinkel . . . . .	252
	9.4.10 Phasenverschiebung . . . . .	253
9.5	Zusammenfassung: Kennwerte von Wechselgrößen . . . . .	256
9.6	Zeigerdiagramm . . . . .	257
	9.6.1 Zeigerdarstellung von Sinusgrößen . . . . .	257
	9.6.2 Phasenverschiebungswinkel im Zeigerdiagramm . . . . .	261
9.7	Zusammenfassung: Zeigerdiagramm . . . . .	262
9.8	Zusammensetzung von Wechselspannungen . . . . .	263
9.9	Oberschwingungen . . . . .	266
	9.9.1 Fourier-Reihen . . . . .	267
	9.9.2 Beispiel zur Fourier-Analyse . . . . .	271
	9.9.3 Bedeutung der Fourier-Analyse . . . . .	274
	9.9.4 Klirrfaktor . . . . .	275
<b>10</b>	<b>Komplexe Darstellung von Sinusgrößen . . . . .</b>	<b>277</b>
10.1	Grundbegriffe der komplexen Rechnung . . . . .	277
	10.1.1 Rechenregeln für imaginäre Zahlen . . . . .	282

	10.1.2	Rechenregeln für komplexe Zahlen . . . . .	282
	10.1.3	Vorteile komplexer Zahlen . . . . .	287
	10.1.4	Sinusförmige Wechselspannung in komplexer Darstellung . .	290
	10.1.5	Der komplexe Widerstand . . . . .	296
	10.2	Zusammenfassung: Komplexe Darstellung von Sinusgrößen . . . . .	299
<b>11</b>		<b>Einfache Wechselstromkreise . . . . .</b>	<b>301</b>
	11.1	Ohm'scher Widerstand im Wechselstromkreis . . . . .	302
	11.2	Spule im Wechselstromkreis . . . . .	305
	11.3	Kondensator im Wechselstromkreis . . . . .	308
	11.4	Reihenschaltung aus ohmschem Widerstand und Spule . . . . .	312
	11.4.1	Komplexer Frequenzparameter „ $s$ “ . . . . .	312
	11.4.2	Anwendung von $s$ bei der $RL$ -Reihenschaltung . . . . .	313
	11.5	Reihenschaltung aus ohmschem Widerstand und Kondensator . . . . .	319
	11.6	$RC$ -Reihenschaltung in der Praxis . . . . .	322
	11.6.1	Die Übertragungsfunktion . . . . .	322
	11.6.2	Verstärkungsmaß, Dezibel . . . . .	326
	11.6.3	Bode-Diagramm . . . . .	327
	11.6.4	Dämpfung . . . . .	328
	11.6.5	Grenzfrequenz . . . . .	329
	11.6.6	Normierte Übertragungsfunktion . . . . .	329
	11.6.7	Der $RC$ -Tiefpass . . . . .	330
	11.6.8	Bode-Diagramme mit Mathcad . . . . .	334
	11.6.9	Filterung eines gestörten Sinussignals . . . . .	337
	11.6.10	Der $RC$ -Hochpass . . . . .	338
	11.7	Reihenschaltung aus Spule, Widerstand und Kondensator . . . . .	341
	11.8	Parallelschaltung aus Widerstand und Spule . . . . .	342
	11.9	Parallelschaltung aus Widerstand und Kondensator . . . . .	343
	11.10	Bode-Diagramm mit Excel-Tool . . . . .	344
	11.11	Zusammenfassung: Einfache Wechselstromkreise . . . . .	344
<b>12</b>		<b>Ersatzschaltungen für Bauelemente . . . . .</b>	<b>347</b>
	12.1	Die elektrische Leitung . . . . .	348
	12.2	Widerstand mit Eigenkapazität und Eigeninduktivität . . . . .	349
	12.3	Verluste in Spulen . . . . .	349
	12.3.1	Wicklungsverluste . . . . .	349
	12.3.2	Verluste durch den Skineneffekt . . . . .	350
	12.3.3	Hystereseverluste . . . . .	351
	12.3.4	Wirbelstromverluste . . . . .	352
	12.4	Verluste im Kondensator . . . . .	352
	12.5	Zusammenfassung: Ersatzschaltungen für Bauelemente . . . . .	353

<b>13</b>	<b>Leistung im Wechselstromkreis</b> . . . . .	355
13.1	Reine Wirkleistung . . . . .	355
13.2	Reine Blindleistung . . . . .	356
13.3	Wirk- und Blindleistung . . . . .	359
13.4	Scheinleistung . . . . .	360
13.5	Blindleistungskompensation . . . . .	361
13.6	Zusammenfassung: Leistung im Wechselstromkreis . . . . .	364
<b>14</b>	<b>Transformatoren (Übertrager)</b> . . . . .	365
14.1	Grundprinzip . . . . .	365
14.2	Transformator mit Eisenkern . . . . .	366
14.3	Der verlustlose, streufreie Transformator . . . . .	368
14.3.1	Transformation der Spannungen . . . . .	369
14.3.2	Transformation der Stromstärken . . . . .	369
14.3.3	Transformation des Widerstandes . . . . .	370
14.4	Der verlustlose Transformator mit Streuung . . . . .	371
14.5	Der reale Transformator . . . . .	373
14.6	Frequenzverhalten des NF-Übertragers . . . . .	373
14.7	Übertrager zwischen ohmschen Widerständen . . . . .	374
14.7.1	Idealer Übertrager unter Vernachlässigung der Wicklungswiderstände . . . . .	374
14.7.2	Idealer Übertrager mit Wicklungswiderständen . . . . .	375
14.8	Spezielle Ausführungen von Transformatoren . . . . .	379
14.9	Zusammenfassung: Transformatoren (Übertrager) . . . . .	379
<b>15</b>	<b>Schwingkreise</b> . . . . .	381
15.1	Reihenschwingkreis ohne Verluste . . . . .	381
15.2	Reihenschwingkreis mit Verlusten . . . . .	384
15.3	Parallelschwingkreis ohne Verluste . . . . .	396
15.4	Parallelschwingkreis mit Verlusten . . . . .	398
15.5	Zeitverhalten elektrischer Schwingkreise . . . . .	409
15.6	Grundsätzliche Kopplungsarten . . . . .	409
15.6.1	Galvanische Kopplung . . . . .	410
15.6.2	Induktive Kopplung . . . . .	410
15.6.3	Kapazitive Kopplung . . . . .	411
15.6.4	Fußpunktkopplung . . . . .	411
15.7	Bandfilter . . . . .	411
15.8	Kopplungsarten bei Bandfiltern . . . . .	413
15.8.1	Transformatorische Kopplung . . . . .	413
15.8.2	Induktive Kopplung mit Koppelspule . . . . .	414
15.8.3	Kapazitive Kopfpunktkopplung . . . . .	415
15.8.4	Kapazitive Fußpunktkopplung . . . . .	415

15.9	Zusammenschaltung von Schwingkreisen . . . . .	416
15.9.1	LC-Bandpass . . . . .	416
15.9.2	LC-Bandsperre . . . . .	417
15.10	Zusammenfassung: Schwingkreise . . . . .	418
<b>16</b>	<b>Mehrphasensysteme</b> . . . . .	<b>419</b>
16.1	Erzeugung von Drehstrom . . . . .	419
16.1.1	Sternschaltung des Generators . . . . .	421
16.1.2	Dreieckschaltung des Generators . . . . .	423
16.2	Verbraucher im Drehstromsystem . . . . .	424
16.2.1	Sternschaltung des Verbrauchers mit Mittelleiter . . . . .	424
16.2.2	Sternschaltung des Verbrauchers ohne Mittelleiter . . . . .	425
16.2.3	Dreieckschaltung des Verbrauchers . . . . .	430
16.3	Leistung bei Drehstrom . . . . .	432
16.4	Zusammenfassung: Mehrphasensysteme . . . . .	434
<b>17</b>	<b>Analyse allgemeiner Wechselstromnetze</b> . . . . .	<b>435</b>
<b>18</b>	<b>Halbleiterdioden</b> . . . . .	<b>449</b>
18.1	Der pn-Übergang ohne äußere Spannung . . . . .	449
18.2	Der pn-Übergang mit äußerer Spannung . . . . .	453
18.2.1	Äußere Spannung in Durchlassrichtung . . . . .	453
18.2.2	Äußere Spannung in Sperrrichtung . . . . .	455
18.2.3	Vollständige Kennlinie eines pn-Übergangs . . . . .	458
18.3	Beschreibung der Diode durch Gleichungen . . . . .	460
18.3.1	Shockley-Gleichung . . . . .	460
18.3.2	Vereinfachung für den Durchlassbereich . . . . .	461
18.3.3	Vereinfachung für den Sperrbereich . . . . .	462
18.4	Linearisierung der Durchlasskennlinie in einem Arbeitspunkt . . . . .	464
18.4.1	Arbeitspunkt . . . . .	464
18.4.2	Gleichstromwiderstand . . . . .	465
18.4.3	Wechselstromwiderstand . . . . .	465
18.5	Näherungen für die Diodenkennlinie . . . . .	466
18.5.1	Die ideale Diode . . . . .	466
18.5.2	Berücksichtigung der Schleusenspannung . . . . .	467
18.5.3	Berücksichtigung des Bahnwiderstandes . . . . .	467
18.6	Kenn- und Grenzwerte von Dioden . . . . .	475
18.7	Schaltverhalten von Dioden . . . . .	475
18.7.1	Diode einschalten . . . . .	476
18.7.2	Diode ausschalten . . . . .	477
18.8	Temperaturabhängigkeit der Diodenkennlinie . . . . .	478
18.8.1	Temperaturabhängigkeit des Sperrstromes . . . . .	478

18.8.2	Temperaturabhängigkeit der Durchlassspannung . . . . .	480
18.9	Diode und Verlustleistung . . . . .	480
18.10	Arten von Dioden . . . . .	486
18.10.1	Universaldioden . . . . .	486
18.10.2	Spezialdioden . . . . .	487
18.11	Arbeitspunkt und Widerstandsgerade . . . . .	503
18.11.1	Widerstandsgerade, einfache Anleitung . . . . .	504
18.11.2	Widerstandsgerade, rechnerisches Verfahren . . . . .	506
18.11.3	Widerstandsgerade, Strahlensatz . . . . .	507
18.11.4	Mathematische Näherungslösung durch Iteration . . . . .	508
18.12	Anwendungen von Dioden . . . . .	512
18.12.1	Gleichrichtung von Wechselspannungen . . . . .	513
18.12.2	Schutzdiode, Freilaufdiode . . . . .	526
18.12.3	Eingangsschutzschaltung einer Baugruppe . . . . .	527
18.12.4	Dioden in der Digitaltechnik . . . . .	529
18.12.5	Begrenzung einer Wechselspannung . . . . .	531
18.13	Zusammenfassung: Halbleiterdioden . . . . .	532
<b>19</b>	<b>Bipolare Transistoren . . . . .</b>	<b>535</b>
19.1	Definition und Klassifizierung von Transistoren . . . . .	535
19.2	Aufbau des Bipolartransistors . . . . .	537
19.3	Richtung von Strömen und Spannungen beim Transistor . . . . .	539
19.4	Wirkungsweise . . . . .	540
19.5	Die drei Grundschaltungen des Transistors . . . . .	545
19.6	Betriebsarten . . . . .	546
19.6.1	Verstärkerbetrieb . . . . .	546
19.6.2	Schalterbetrieb . . . . .	547
19.7	Kennlinien des Transistors . . . . .	550
19.7.1	Eingangskennlinie . . . . .	550
19.7.2	Übertragungskennlinie (Steuerkennlinie) . . . . .	555
19.7.3	Ausgangskennlinien . . . . .	563
19.7.4	Vierquadranten-Kennlinienfeld, Arbeitspunkt, Lastgerade . . . . .	570
19.8	Abhängigkeiten der Stromverstärkung . . . . .	573
19.8.1	Stromverstärkung in Abhängigkeit von Arbeitspunkt und Temperatur . . . . .	573
19.8.2	Stromverstärkung in Abhängigkeit der Grundschaltung . . . . .	575
19.8.3	Stromverstärkung in Abhängigkeit der Frequenz, Grenzfrequenzen . . . . .	577
19.9	Wahl des Arbeitspunktes . . . . .	580
19.9.1	Erlaubter Arbeitsbereich . . . . .	580
19.9.2	Betriebsarten als Verstärker . . . . .	581
19.10	Die Grundschaltungen im Detail . . . . .	583

19.10.1	Die Emitterschaltung . . . . .	583
19.10.2	Die Basisschaltung . . . . .	589
19.10.3	Die Kollektorschaltung . . . . .	591
19.11	Rückkopplung . . . . .	594
19.11.1	Allgemeine Folgen der Gegenkopplung . . . . .	596
19.11.2	Emitterstufe mit Gegenkopplung . . . . .	601
19.12	Ersatzschaltungen des Transistors . . . . .	603
19.12.1	Die formale Ersatzschaltung . . . . .	604
19.12.2	Die physikalische Ersatzschaltung . . . . .	609
19.13	Spezielle Schaltungen mit Bipolartransistoren . . . . .	614
19.13.1	Darlington-Schaltung . . . . .	614
19.13.2	Bootstrap-Schaltung . . . . .	614
19.13.3	Kaskodeschaltung . . . . .	615
19.13.4	Konstantstromquelle . . . . .	616
19.13.5	Differenzverstärker . . . . .	618
19.13.6	Selektivverstärker . . . . .	621
19.13.7	Oszillatoren . . . . .	621
19.14	Der Transistor als Schalter . . . . .	623
19.14.1	Schaltransistor im Sperrzustand . . . . .	624
19.14.2	Schaltransistor im Durchlasszustand . . . . .	625
19.14.3	Dynamisches Schaltverhalten . . . . .	626
19.14.4	Verkürzung der Schaltzeiten . . . . .	628
19.14.5	Beispiele für die Anwendung von Schaltransistoren . . . . .	628
19.15	Transistoren in der Digitaltechnik . . . . .	635
19.15.1	Kodes, Logische Funktionen, Schaltalgebra . . . . .	635
19.15.2	Schaltungstechnische Realisierung der logischen Grundfunktionen . . . . .	641
19.16	Zusammenfassung: Bipolare Transistoren . . . . .	647

<b>0</b>	<b>Feldeffekttransistoren . . . . .</b>	<b>651</b>
20.1	Bezeichnungen und Klassifizierung . . . . .	651
20.2	Sperrschicht-FET (JFET) mit n-Kanal . . . . .	655
20.2.1	Aufbau und Arbeitsweise . . . . .	655
20.2.2	Kennlinien und Arbeitsbereiche des JFETs . . . . .	657
20.3	Isolierschicht-FET (MOSFET) mit n-Kanal . . . . .	661
20.3.1	Aufbau und Arbeitsweise . . . . .	661
20.3.2	Kennlinien und Arbeitsbereiche des MOSFETs . . . . .	664
20.4	Schaltungstechnik mit FETs (Beispiele) . . . . .	667
20.4.1	Die drei Grundschaltungen des Feldeffekttransistors . . . . .	667
20.4.2	Verstärkerbetrieb . . . . .	668
20.4.3	Betrieb als steuerbarer Widerstand . . . . .	670
20.4.4	Konstantstromquelle mit FET . . . . .	671

20.4.5	Der FET als Schalter	671
20.4.6	Inversdiode	672
20.4.7	Lowside-, Highside-Schalter	673
20.5	Zusammenfassung: Feldeffekttransistoren	680
<b>21</b>	<b>Operationsverstärker</b>	<b>683</b>
21.1	Begriffe, Anwendungsbereiche	683
21.2	Interner Aufbau von Operationsverstärkern	684
21.3	Eigenschaften des Operationsverstärkers	686
21.3.1	Leerlaufspannungsverstärkung	686
21.3.2	Eingangswiderstände, Eingangsströme	687
21.3.3	Ausgangswiderstand	687
21.3.4	Übertragungskennlinie	687
21.3.5	Gleichtaktverstärkung, Gleichtaktunterdrückung	689
21.3.6	Offsetspannung	690
21.3.7	Frequenzverhalten	691
21.3.8	Sprungverhalten	694
21.4	Der ideale Operationsverstärker	695
21.5	Einsatz von Operationsverstärkern	696
21.5.1	Beschalteter Operationsverstärker	696
21.5.2	Grundsaltungen	701
21.5.3	Anwendungsbeispiele	711
21.6	Zusammenfassung: Operationsverstärker	717
	<b>Liste verwendeter Formelzeichen</b>	<b>719</b>
	<b>Literatur</b>	<b>725</b>
	<b>Sachverzeichnis</b>	<b>727</b>