

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Elektrischer Strom.....</b>	<b>19</b>
1.1	Der Aufbau der Materie .....	19
1.1.1	Stoffe.....	19
1.1.1.1	Stoffgemische .....	20
1.1.1.2	Reinstoffe.....	20
1.1.1.3	Verbindung .....	20
1.1.1.4	Molekül.....	20
1.1.1.5	Element .....	20
1.1.1.6	Atom .....	20
1.1.2	Zusammenfassung: Stoffe.....	21
1.1.3	Beispiel zur Zerlegung der Materie.....	21
1.1.4	Denkmodell für Atom und Molekül.....	22
1.1.5	Der Atombau.....	23
1.1.5.1	Das Bohr'sche Atommodell .....	23
1.1.5.2	Beispiele für Atome .....	24
1.1.6	Zusammenfassung: Der Atombau.....	25
1.2	Der elektrische Strom .....	26
1.2.1	Elektrische Ladung .....	26
1.2.2	Elektrischer Strom .....	27
1.2.3	Nichtleiter, Leiter und Halbleiter .....	28
1.2.4	Widerstand und Leitfähigkeit.....	28
1.2.5	Elektrische Spannung.....	29
1.2.6	Zusammenfassung: Der elektrische Strom.....	31
1.2.7	Halbleiter .....	32
1.2.7.1	Elektrizitätsleitung in festen Stoffen (Wiederholung).....	32
1.2.7.2	Elektrizitätsleitung in reinen Halbleitern (Eigenleitung) .....	33
1.2.7.3	Elektrizitätsleitung in dotierten Halbleitern (Störstellenleitung) .....	35
1.2.8	Zusammenfassung: Halbleiter.....	36
<b>2</b>	<b>Der unverzweigte Gleichstromkreis.....</b>	<b>37</b>
2.1	Größen im Gleichstromkreis.....	37
2.1.1	Allgemeines zu physikalischen Größen und Einheiten .....	37
2.1.2	Die Größe für den elektrischen Strom .....	40
2.1.3	Die Größe für die elektrische Spannung .....	41
2.1.4	Die Größe für den elektrischen Widerstand .....	42
2.1.5	Zusammenfassung: Größen im Gleichstromkreis .....	43
2.2	Das Ohm'sche Gesetz .....	44
2.2.1	Aussage des ohmschen Gesetzes .....	44
2.2.2	Rechnen mit dem ohmschen Gesetz .....	45
2.2.3	Grafische Darstellung des ohmschen Gesetzes .....	46
2.2.4	Zusammenfassung: Das ohmsche Gesetz .....	46

2.3	Definitionen .....	47
2.3.1	Gleichstrom, Gleichspannung, Wechselstrom, Wechselspannung .....	47
2.3.2	Verbraucher .....	47
2.3.3	Reihenschaltung .....	48
2.3.4	Parallelschaltung .....	48
2.3.5	Unverzweigter und verzweigter Stromkreis .....	48
2.3.6	Schaltzeichen und Schaltbild .....	49
2.3.7	Werte von Strömen und Spannungen in Schaltbildern .....	51
2.3.7.1	Angabe der Spannungen unter Bezug auf Masse (als Potenzial) .....	51
2.3.7.2	Angabe der Spannungen mit Zählpfeilen .....	52
2.3.7.3	Angabe von Strömen in Schaltbildern .....	53
2.3.7.4	Erzeuger- und Verbraucher- Zählpfeilsystem .....	53
2.3.8	Kurzschluss .....	53
2.3.9	Passive Bauelemente .....	55
2.3.10	Aktive Elemente .....	55
2.3.11	Zusammenfassung: Definitionen .....	55
2.4	Arbeit und Leistung .....	55
2.4.1	Elektrische Arbeit .....	56
2.4.2	Elektrische Leistung .....	56
2.5	Wirkungsgrad .....	58
2.6	Die Stromdichte .....	59

### **3 Lineare Bauelemente im Gleichstromkreis .....63**

3.1	Definition des Begriffes »linear« .....	63
3.2	Der ohmsche Widerstand .....	64
3.2.1	Wirkungsweise des Widerstandes .....	64
3.2.2	Spezifischer Widerstand .....	65
3.2.3	Verwendungszweck von Widerständen .....	69
3.2.3.1	Strombegrenzung durch einen Vorwiderstand .....	69
3.2.3.2	Aufteilung einer Spannung .....	70
3.2.3.3	Aufteilung des Stromes .....	70
3.2.4	Widerstand als Bauelement .....	70
3.2.4.1	Festwiderstände .....	71
3.2.4.2	Veränderbare Widerstände .....	76
3.2.4.3	Spezielle Widerstände .....	77
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 .....	82
3.3.5	Verwendungszweck von Kondensatoren .....	85
3.3.5.1	Stützen von Spannungen .....	85
3.3.5.2	Glättung von Spannungen .....	87
3.3.5.3	Trennen von Gleich- und Wechselspannung .....	88
3.3.5.4	Entstörung mittels Kondensatoren .....	88
3.3.6	Kondensator als Bauelement .....	89
3.3.6.1	Festkondensatoren .....	89
3.3.6.2	Veränderbare Kondensatoren .....	90
3.3.7	Kenngrößen von Kondensatoren .....	90
3.3.7.1	Nennspannung .....	90
3.3.7.2	Kapazitätstoleranz .....	91
3.3.7.3	Kapazitätsänderung .....	91
3.3.7.4	Ersatzschaltbild .....	91
3.3.8	Elektrisches Feld .....	91

3.3.9	Zusammenfassung: Der Kondensator .....	94
3.4	Die Spule.....	94
3.4.1	Grundlagen des Magnetismus.....	94
3.4.2	Zusammenfassung: Grundlagen des Magnetismus .....	96
3.4.3	Elektromagnetismus.....	97
3.4.4	Wirkungsweise der Spule.....	98
3.4.4.1	Magnetwirkung des Stromes.....	98
3.4.4.2	Induktion.....	102
3.4.4.3	Kraft auf stromdurchflossene Leiter .....	104
3.4.4.4	Selbstinduktion .....	105
3.4.4.5	Induktivität.....	105
3.4.4.6	Induktive Kopplung .....	106
3.4.4.7	Induktiver Widerstand .....	107
3.4.5	Aufbau der Spule .....	108
3.4.5.1	Luftspule .....	108
3.4.5.2	Spule mit Kern .....	108
3.4.6	Verwendungszweck von Spulen .....	109
3.4.6.1	Verwendung von Spulen im Gleichstromkreis .....	109
3.4.6.2	Verwendung von Spulen im Wechselstromkreis .....	109
3.4.7	Spule als Bauelement.....	109
3.4.7.1	Feste Induktivität .....	109
3.4.7.2	Veränderliche Induktivität .....	110
3.4.8	Kenngößen von Spulen.....	110
3.4.9	Magnetische Kreise.....	111
3.5	Zusammenfassung: Die Spule.....	115
<b>4</b>	<b>Gleichspannungsquellen.....</b>	<b>117</b>
4.1	Primärelemente (galvanische Elemente, Batterien) .....	117
4.1.1	Wirkungsweise des galvanischen Elements .....	117
4.1.2	Batterien.....	118
4.2	Sekundärelemente (Akkumulatoren) .....	119
4.2.1	Der Bleiakкумулятор.....	119
4.2.2	Nickel-Cadmium-Akkumulatoren.....	119
4.2.3	Nickel-Metallhydrid- und Lithium-Ionen- Akkumulatoren .....	120
4.2.4	Technische Eigenschaften von Akkumulatoren .....	120
4.3	Netzgeräte .....	121
4.4	Störungsfreie Versorgung mit Gleichspannung .....	122
4.5	Die belastete Gleichspannungsquelle.....	123
4.5.1	Ersatzspannungsquelle.....	123
4.5.2	Ermittlung des Innenwiderstandes .....	124
4.5.3	Kurzschlussstrom.....	125
4.5.4	Leerlauf.....	126
4.5.5	Anpassungen.....	126
4.5.5.1	Spannungsanpassung .....	126
4.5.5.2	Stromanpassung .....	126
4.5.5.3	Leistungsanpassung .....	127
4.6	Ersatzstromquelle.....	128
4.7	Zusammenfassung: Gleichspannungsquellen .....	129
<b>5</b>	<b>Berechnungen im unverzweigten Gleichstromkreis .....</b>	<b>131</b>
5.1	Reihen- und Parallelschaltung von Zweipolen.....	131
5.2	Reihenschaltung von ohmschen Widerständen.....	132
5.3	Reihenschaltung von Kondensatoren .....	136
5.4	Reihenschaltung von Spulen.....	137

5.5	Reihenschaltung von Gleichspannungsquellen .....	138
5.6	Reihenschaltung von Widerständen, Kondensatoren und Spulen .....	138
5.6.1	Zusammenfassung von Bauelementen .....	138
5.6.2	Reihenschaltung von Kondensator und $R$ oder $L$ .....	139
5.6.3	Reihenschaltung einer Spule mit $R$ oder $C$ .....	139
5.7	Reihenschaltung in der Praxis .....	139
5.7.1	Ersatz von Bauteilen .....	139
5.7.2	Vorwiderstand .....	140
5.7.3	Spannungsabfall an Leitungen .....	141
5.7.4	Spannungsteiler .....	141
5.8	Zusammenfassung: Berechnungen im unverzweigten Gleichstromkreis .....	141
<b>6</b>	<b>Messung von Spannung und Strom .....</b>	<b>143</b>
6.1	Voltmeter und Amperemeter .....	143
6.2	Erweiterung des Messbereiches eines Voltmeters .....	146
6.3	Indirekte Messung von Widerstand und Leistung .....	147
<b>7</b>	<b>Schaltvorgänge im unverzweigten Gleichstromkreis .....</b>	<b>149</b>
7.1	Schaltvorgang beim ohmschen Widerstand .....	149
7.1.1	Widerstand einschalten .....	149
7.1.2	Widerstand ausschalten .....	149
7.2	Schaltvorgang beim Kondensator .....	150
7.2.1	Kondensator laden (einschalten) .....	150
7.2.2	Kondensator ausschalten .....	152
7.2.3	Kondensator entladen .....	152
7.2.4	Exponentialfunktion von Spannung und Strom .....	153
7.3	Schaltvorgang bei der Spule .....	157
7.3.1	Spule einschalten .....	157
7.3.2	Spule ausschalten (mit Abschalt-Induktionsstromkreis) .....	158
7.3.3	Spule ausschalten (ohne Abschalt-Induktionsstromkreis) .....	159
7.3.4	Zeitverlauf von Spannung und Strom .....	161
7.4	Zusammenfassung: Schaltvorgänge im unverzweigten Gleichstromkreis .....	162
<b>8</b>	<b>Der verzweigte Gleichstromkreis .....</b>	<b>163</b>
8.1	Die Kirchhoff'schen Gesetze .....	163
8.1.1	Die Knotenregel (1. Kirchhoff'sches Gesetz) .....	163
8.1.2	Die Maschenregel (2. Kirchhoff'sches Gesetz) .....	164
8.2	Berechnung von Parallelschaltungen .....	165
8.2.1	Parallelschaltung von ohmschen Widerständen .....	165
8.2.2	Die Stromteilerregel .....	167
8.2.3	Parallelschaltung von Kondensatoren .....	168
8.2.4	Parallelschaltung von Spulen .....	168
8.2.5	Parallelschaltung von Gleichspannungsquellen .....	169
8.3	Parallelschaltung in der Praxis .....	170
8.3.1	Ersatz von Bauteilen .....	170
8.3.2	Erweiterung des Messbereiches eines Amperemeters .....	170
8.3.3	Der belastete Spannungsteiler .....	172
8.3.4	Berechnung des belasteten Spannungsteilers .....	172
8.4	Gemischte Schaltungen .....	174
8.5	Stern-Dreieck- und Dreieck-Stern-Umwandlung .....	175
8.6	Umwandlung von Quellen .....	178
8.7	Analyse von Netzwerken .....	179
8.7.1	Die Maschenanalyse .....	180
8.7.2	Die Knotenanalyse .....	185

8.7.3	Der Überlagerungssatz.....	187
8.7.4	Der Satz von der Ersatzspannungsquelle .....	189
8.7.5	Bestimmung des Innenwiderstandes eines Netzwerkes .....	194
8.8	Vierpole .....	196
8.9	Zusammenfassung: Der verzweigte Gleichstromkreis.....	197
<b>9</b>	<b>Wechselspannung und Wechselstrom.....</b>	<b>199</b>
9.1	Grundlegende Betrachtungen.....	199
9.2	Entstehung der Sinuskurve.....	202
9.3	Kennwerte von Wechselgrößen .....	203
9.3.1	Periodendauer .....	203
9.3.2	Frequenz.....	203
9.3.3	Kreisfrequenz.....	204
9.3.4	Wellenlänge .....	204
9.3.5	Amplitude .....	204
9.3.6	Spitze-Spitze-Wert.....	205
9.3.7	Effektivwert .....	205
9.3.8	Gleichrichtwert <sup>(M)</sup> .....	208
9.3.9	Phase .....	210
9.3.10	Phasenwinkel zwischen Strom und Spannung .....	211
9.4	Zusammenfassung: Kennwerte von Wechselgrößen .....	213
9.5	Zeigerdarstellung von Sinusgrößen.....	214
9.6	Zusammensetzung von Wechselspannungen .....	216
9.7	Oberschwingungen .....	218
9.7.1	Fourierreihen <sup>(M)</sup> .....	219
9.7.2	Beispiel zur Fourier-Analyse <sup>(M)</sup> .....	221
9.7.3	Bedeutung der Fourier-Analyse .....	223
9.7.3.1	Störungen .....	223
9.7.3.2	Nicht sinusförmige Vorgänge in linearen Schaltungen.....	224
9.7.4	Klirrfaktor .....	224
<b>10</b>	<b>Komplexe Darstellung von Sinusgrößen.....</b>	<b>225</b>
10.1	Grundbegriffe der komplexen Rechnung.....	225
10.1.1	Rechenregeln für imaginäre Zahlen .....	227
10.1.2	Rechenregeln für komplexe Zahlen .....	227
10.1.3	Vorteil komplexer Zahlen .....	229
10.1.4	Sinusförmige Wechselspannung in komplexer Darstellung .....	232
10.1.5	Der komplexe Widerstand .....	236
10.2	Zusammenfassung: Komplexe Darstellung von Sinusgrößen.....	237
<b>11</b>	<b>Einfache Wechselstromkreise .....</b>	<b>239</b>
11.1	Ohm'scher Widerstand im Wechselstromkreis.....	239
11.2	Spule im Wechselstromkreis.....	241
11.3	Kondensator im Wechselstromkreis .....	244
11.4	Reihenschaltung aus ohmschem Widerstand und Spule .....	247
11.4.1	Komplexe Frequenz »s«.....	247
11.4.2	Anwendung von s bei der RL-Reihenschaltung .....	248
11.5	Reihenschaltung aus ohmschem Widerstand und Kondensator .....	252
11.6	RC-Reihenschaltung in der Praxis .....	255
11.6.1	Die Übertragungsfunktion.....	255
11.6.2	Verstärkungsmaß, Dezibel .....	259
11.6.3	Bodediagramm .....	260
11.6.4	Dämpfung .....	261
11.6.5	Grenzfrequenz.....	261

11.6.6	Normierte Übertragungsfunktion.....	261
11.6.7	Der RC-Tiefpass.....	262
11.6.8	Bodediagramme mit Mathcad.....	266
11.6.9	Filterung eines gestörten Sinussignals.....	270
11.6.10	Der RC-Hochpass.....	271
11.7	Reihenschaltung aus Spule, Widerstand und Kondensator.....	273
11.8	Parallelschaltung aus Widerstand und Spule.....	275
11.9	Parallelschaltung aus Widerstand und Kondensator.....	276
11.10	Zusammenfassung: Einfache Wechselstromkreise.....	276
<b>12</b>	<b>Ersatzschaltungen für Bauelemente.....</b>	<b>279</b>
12.1	Die elektrische Leitung.....	279
12.2	Widerstand mit Eigenkapazität und Eigeninduktivität.....	280
12.3	Verluste in Spulen.....	281
12.3.1	Wicklungsverluste.....	281
12.3.2	Verluste durch den Skineneffekt.....	282
12.3.3	Hystereseverluste.....	282
12.3.4	Wirbelstromverluste.....	283
12.4	Verluste im Kondensator.....	283
12.5	Zusammenfassung: Ersatzschaltungen für Bauelemente.....	284
<b>13</b>	<b>Leistung im Wechselstromkreis.....</b>	<b>285</b>
13.1	Reine Wirkleistung.....	285
13.2	Reine Blindleistung.....	286
13.3	Wirk- und Blindleistung.....	287
13.4	Scheinleistung.....	288
13.5	Blindleistungskompensation.....	289
13.6	Zusammenfassung: Leistung im Wechselstromkreis.....	292
<b>14</b>	<b>Transformatoren (Übertrager).....</b>	<b>293</b>
14.1	Grundprinzip.....	293
14.2	Transformator mit Eisenkern.....	294
14.3	Der verlustlose streufreie Transformator.....	295
14.3.1	Transformation der Spannungen.....	296
14.3.2	Transformation der Stromstärken.....	296
14.3.3	Transformation des Widerstandes.....	297
14.4	Der verlustlose Übertrager mit Streuung.....	298
14.5	Der reale Transformator.....	299
14.6	Übertrager zwischen ohmschen Widerständen.....	300
14.7	Spezielle Ausführungen von Transformatoren.....	304
14.8	Zusammenfassung: Transformatoren (Übertrager).....	305
<b>15</b>	<b>Schwingkreise.....</b>	<b>307</b>
15.1	Reihenschwingkreis ohne Verluste.....	307
15.2	Reihenschwingkreis mit Verlusten.....	310
15.3	Parallelschwingkreis ohne Verluste.....	320
15.4	Parallelschwingkreis mit Verlusten.....	322
15.5	Zeitverhalten elektrischer Schwingkreise.....	329
15.6	Grundsätzliche Kopplungsarten.....	330
15.6.1	Galvanische Kopplung.....	330
15.6.2	Induktive Kopplung.....	330
15.6.3	Kapazitive Kopplung.....	330
15.6.4	Fußpunktkopplung.....	331

15.7	Bandfilter .....	331
15.8	Kopplungsarten bei Bandfiltern .....	332
15.8.1	Transformatorische Kopplung .....	332
15.8.2	Induktive Kopplung mit Koppelspule .....	333
15.8.3	Kapazitive Kopfpunktkopplung .....	333
15.8.4	Kapazitive Fußpunktkopplung .....	334
15.9	Zusammenschaltung von Schwingkreisen .....	334
15.9.1	LC-Bandpass .....	334
15.9.2	LC-Bandsperre .....	335
15.10	Zusammenfassung: Schwingkreise .....	336
<b>16</b>	<b>Mehrphasensysteme.....</b>	<b>337</b>
16.1	Erzeugung von Drehstrom .....	337
16.1.1	Sternschaltung des Generators .....	338
16.1.2	Dreieckschaltung des Generators .....	339
16.2	Verbraucher im Drehstromsystem .....	340
16.2.1	Sternschaltung des Verbrauchers mit Mittelleiter .....	340
16.2.2	Sternschaltung des Verbrauchers ohne Mittelleiter .....	340
16.2.3	Dreieckschaltung des Verbrauchers .....	344
16.3	Leistung bei Drehstrom .....	346
16.4	Zusammenfassung: Mehrphasensysteme .....	347
<b>17</b>	<b>Analyse allgemeiner Wechselstromnetze .....</b>	<b>349</b>
<b>18</b>	<b>Halbleiterdioden.....</b>	<b>361</b>
18.1	Der pn-Übergang ohne äußere Spannung .....	361
18.2	Der pn-Übergang mit äußerer Spannung .....	363
18.2.1	Äußere Spannung in Durchlassrichtung .....	363
18.2.2	Äußere Spannung in Sperrrichtung .....	365
18.2.3	Vollständige Kennlinie eines pn-Übergangs .....	367
18.3	Eigenschaften von Dioden .....	369
18.3.1	Die ideale Diode .....	369
18.3.2	Die reale Diode .....	369
18.3.2.1	Ersatzschaltungen der Diode .....	369
18.3.2.2	Kennwerte von Dioden .....	371
18.3.2.3	Temperaturabhängigkeit der Diodenkennlinie .....	374
18.4	Diode und Verlustleistung .....	375
18.5	Arten von Dioden .....	379
18.5.1	Universaldioden .....	379
18.5.2	Spezialdioden .....	380
18.5.2.1	Schottkydiode (hot carrier-Diode) .....	380
18.5.2.2	Gunndiode .....	380
18.5.2.3	PIN-Diode .....	381
18.5.2.4	Kapazitätsvariationsdiode .....	381
18.5.2.5	Tunneldiode .....	382
18.5.2.6	Fotodiode .....	383
18.5.2.7	Lumineszenzdiode .....	383
18.5.2.8	Z-Diode (Zener-Diode) .....	384
18.5.2.9	Suppressor-Dioden .....	390
18.6	Arbeitspunkt und Widerstandsgerade .....	390
18.7	Anwendungen von Dioden .....	395
18.7.1	Gleichrichtung von Wechselspannungen .....	396
18.7.2	Schutzdiode .....	399
18.7.3	Eingangsschutzschaltung .....	400

18.7.4	Dioden in der Digitaltechnik.....	400
18.7.5	Begrenzung einer Wechselfspannung .....	402
18.7.6	Stabilisierung kleiner Gleichspannungen.....	403
18.8	Zusammenfassung: Halbleiterdioden.....	404

## **19 Bipolare Transistoren.....405**

19.1	Definition und Klassifizierung von Transistoren .....	405
19.2	Aufbau des Transistors .....	405
19.3	Richtung von Strömen und Spannungen beim Transistor.....	407
19.4	Wirkungsweise.....	408
19.5	Die drei Grundsaltungen des Transistors .....	412
19.6	Betriebsarten .....	413
19.7	Kennlinien des Transistors.....	416
19.7.1	Eingangskennlinie.....	416
19.7.2	Ausgangskennlinie .....	417
19.7.3	Steuerkennlinie .....	418
19.7.4	Vierquadranten-Kennlinienfeld, Arbeitspunkt, Lastgerade .....	421
19.8	Die Stromverstärkung $\alpha$ , $\beta$ und $\gamma$ .....	422
19.9	Abhängigkeiten der Stromverstärkung .....	424
19.10	Wahl des Arbeitspunktes .....	425
19.11	Die Grundsaltungen im Detail.....	428
19.11.1	Die Emitterschaltung .....	428
19.11.1.1	Eingangsimpedanz .....	428
19.11.1.2	Ausgangsimpedanz .....	429
19.11.1.3	Wechselfspannungsverstärkung .....	430
19.11.1.4	Leistungsverstärkung .....	431
19.11.1.5	Verhalten bei hohen Frequenzen.....	433
19.11.2	Die Basisschaltung.....	433
19.11.2.1	Eingangsimpedanz .....	433
19.11.2.2	Ausgangsimpedanz .....	434
19.11.2.3	Wechselfspannungsverstärkung .....	434
19.11.2.4	Leistungsverstärkung .....	434
19.11.2.5	Verhalten bei hohen Frequenzen.....	434
19.11.3	Die Kollektorschaltung .....	435
19.11.3.1	Eingangsimpedanz .....	435
19.11.3.2	Ausgangsimpedanz .....	435
19.11.3.3	Wechselfspannungsverstärkung .....	436
19.11.3.4	Leistungsverstärkung .....	437
19.11.3.5	Verhalten bei hohen Frequenzen.....	437
19.12	Rückkopplung .....	437
19.13	Emitterstufe mit Gegenkopplung .....	443
19.14	Ersatzschaltungen des Transistors.....	446
19.14.1	Die formale Ersatzschaltung .....	446
19.14.2	Die physikalische Ersatzschaltung.....	450
19.15	Spezielle Schaltungen mit Bipolartransistoren .....	457
19.15.1	Darlington-Schaltung.....	457
19.15.2	Bootstrap-Schaltung.....	457
19.15.3	Kaskodeschaltung .....	458
19.15.4	Konstantstromquelle .....	458
19.15.5	Differenzverstärker .....	460
19.15.6	Selektivverstärker .....	463
19.15.7	Oszillatoren.....	463
19.16	Der Transistor als Schalter.....	464
19.16.1	Schaltransistor im Sperrzustand.....	465
19.16.2	Schaltransistor im Durchlasszustand .....	466



19.16.3	Dynamisches Schaltverhalten .....	466
19.16.4	Verkürzung der Schaltzeiten .....	467
19.16.5	Beispiele für die Anwendung von Schalttransistoren .....	468
19.16.5.1	Schalten einer Last .....	469
19.16.5.2	Astabile Kippschaltung (Multivibrator) .....	470
19.16.5.3	Monostabile Kippschaltung (Univibrator, Monoflop) .....	471
19.16.5.4	Bistabile Kippschaltung (Flipflop) .....	472
19.16.5.5	Schmitt-Trigger .....	473
19.17	Transistoren in der Digitaltechnik .....	474
19.17.1	Kodes, Logische Funktionen, Schaltalgebra .....	474
19.17.2	Schaltungstechnische Realisierung der logischen Grundfunktionen .....	479
19.18	Zusammenfassung: Bipolare Transistoren .....	485
<b>20</b>	<b>Feldeffekt-Transistoren .....</b>	<b>489</b>
20.1	Bezeichnungen und Klassifizierung .....	489
20.2	Sperrschicht-FET mit n-Kanal .....	492
20.2.1	Aufbau und Arbeitsweise .....	492
20.2.2	Kennlinien und Arbeitsbereiche .....	493
20.3	Schaltungstechnik mit FETs (Beispiele) .....	496
20.3.1	Verstärkerbetrieb .....	496
20.3.1.1	Sourceschaltung .....	496
20.3.1.2	Gateschaltung .....	497
20.3.1.3	Drainschaltung .....	497
20.3.1.4	Verstärkung mit Gegenkopplung .....	497
20.3.2	Betrieb als steuerbarer Widerstand .....	498
20.3.3	Konstantstromquelle mit FET .....	498
20.3.4	Der FET als Schalter .....	499
20.4	Zusammenfassung: Feldeffekt-Transistoren .....	502
<b>21</b>	<b>Operationsverstärker .....</b>	<b>503</b>
21.1	Interner Aufbau von Operationsverstärkern .....	503
21.2	Eigenschaften des Operationsverstärkers .....	504
21.2.1	Leerlaufverstärkung .....	504
21.2.2	Übertragungskennlinie .....	505
21.2.3	Gleichtaktaussteuerung .....	506
21.2.4	Offsetspannung .....	506
21.2.5	Frequenzverhalten .....	507
21.2.6	Sprungverhalten .....	507
21.3	Betriebsarten .....	508
21.4	Grundsaltungen, Anwendungsbeispiele .....	509
21.4.1	Nicht invertierender Verstärker .....	509
21.4.2	Invertierender Verstärker .....	510
21.4.3	Impedanzwandler (Spannungsfolger) .....	511
21.4.4	Differenzverstärker (Subtrahierer) .....	511
21.4.5	Addierer (Summierer) .....	512
21.4.6	Differenzierer .....	512
21.4.7	Integrierer .....	513
21.4.8	Spannungskomparator .....	514
21.4.9	Aktive Filter .....	514
21.5	Zusammenfassung: Operationsverstärker .....	515
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>517</b>
	<b>Stichwortverzeichnis .....</b>	<b>519</b>