

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Ladung, Strom und Spannung</b>	<b>1</b>
1.1	Das Wesen der Elektrizität	1
1.2	Der Aufbau der Materie	2
1.2.1	Stoffe	2
1.2.2	Zusammenfassung: Stoffe	4
1.2.3	Beispiel zur Zerlegung der Materie	4
1.2.4	Atome und Moleküle	5
1.2.5	Elektronen, Protonen und Neutronen	6
1.2.6	Zusammenfassung: Der Aufbau der Materie	9
1.3	Elektrischer Strom	9
1.4	Nichtleiter, Leiter und Halbleiter	11
1.5	Elektrische Spannung	12
1.6	Widerstand und Leitfähigkeit	14
1.7	Halbleiter	15
1.7.1	Elektrizitätsleitung in reinen Halbleitern	15
1.7.2	Elektrizitätsleitung in dotierten Halbleitern (Störstellenleitung)	18
1.7.3	Zusammenfassung: Halbleiter	20
1.8	Zusammenfassung: Ladung, Strom und Spannung	20
<b>2</b>	<b>Der unverzweigte Gleichstromkreis</b>	<b>23</b>
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	29
2.1.4	Die Größe für den elektrischen Widerstand	31
2.1.5	Zusammenfassung: Größen im Gleichstromkreis	32
2.2	Das Ohm'sche Gesetz	32
2.2.1	Aussage des Ohm'schen Gesetzes	32
2.2.2	Rechnen mit dem Ohm'schen Gesetz	33

2.2.3	Grafische Darstellung des Ohm'schen Gesetzes . . . . .	35
2.2.4	Zusammenfassung: Das Ohm'sche Gesetz . . . . .	35
2.3	Definitionen . . . . .	36
2.3.1	Gleichstrom, Gleichspannung, Wechselstrom, Wechselspannung. . . . .	36
2.3.2	Verbraucher . . . . .	37
2.3.3	Reihenschaltung. . . . .	37
2.3.4	Parallelschaltung . . . . .	38
2.3.5	Unverzweigter und verzweigter Stromkreis. . . . .	38
2.3.6	Schaltzeichen und Schaltbild. . . . .	38
2.3.7	Werte von Strömen und Spannungen in Schaltbildern . . . . .	41
2.3.8	Kurzschluss . . . . .	44
2.3.9	Aktive und passive Bauelemente . . . . .	46
2.3.10	Zusammenfassung: Definitionen . . . . .	46
2.4	Arbeit und Leistung . . . . .	47
2.4.1	Elektrische Arbeit. . . . .	47
2.4.2	Elektrische Leistung. . . . .	48
2.5	Wirkungsgrad. . . . .	50
2.6	Die Stromdichte . . . . .	51
2.6.1	Homogener Stromfluss. . . . .	52
2.6.2	Inhomogener Stromfluss . . . . .	54
2.6.3	Praktische Bedeutung der Stromdichte . . . . .	55
3	<b>Lineare Bauelemente im Gleichstromkreis</b> . . . . .	57
3.1	Definition des Begriffes „linear“ . . . . .	57
3.2	Der ohmsche Widerstand . . . . .	60
3.2.1	Wirkungsweise des Widerstandes . . . . .	60
3.2.2	Spezifischer Widerstand. . . . .	61
3.2.3	Verwendungszweck von Widerständen . . . . .	65
3.2.4	Widerstand als Bauelement . . . . .	67
3.2.5	Zusammenfassung: Der ohmsche Widerstand . . . . .	77
3.3	Der Kondensator . . . . .	78
3.3.1	Wirkungsweise des Kondensators . . . . .	78
3.3.2	Größe für die Kapazität . . . . .	79
3.3.3	Plattenkondensator. . . . .	81
3.3.4	Dielektrikum . . . . .	82
3.3.5	Verwendungszweck von Kondensatoren . . . . .	86
3.3.6	Kondensator als Bauelement . . . . .	90
3.3.7	Kenngößen von Kondensatoren . . . . .	92
3.3.8	Elektrisches Feld . . . . .	93
3.3.9	Die allgemeine Bedeutung von $\vec{D}$ , $\vec{P}$ und $\epsilon_r$ . . . . .	96
3.3.10	Zusammenfassung: Der Kondensator . . . . .	97

3.4	Die Spule . . . . .	98
3.4.1	Grundlagen des Magnetismus . . . . .	98
3.4.2	Zusammenfassung: Grundlagen des Magnetismus . . . . .	103
3.4.3	Felder von stromführenden Leitern . . . . .	103
3.4.4	Wirkungsweise der Spule. . . . .	106
3.4.5	Aufbau der Spule . . . . .	118
3.4.6	Verwendungszweck von Spulen. . . . .	119
3.4.7	Spule als Bauelement. . . . .	120
3.4.8	Kenngößen von Spulen. . . . .	121
3.4.9	Magnetische Kreise . . . . .	122
3.5	Zusammenfassung: Die Spule . . . . .	129
<b>4</b>	<b>Gleichspannungsquellen</b> . . . . .	131
4.1	Primärelemente (galvanische Elemente, Batterien) . . . . .	132
4.1.1	Wirkungsweise des galvanischen Elements. . . . .	132
4.1.2	Batterien. . . . .	133
4.2	Sekundärelemente (Akkumulatoren) . . . . .	134
4.2.1	Der Bleiakkumulator . . . . .	134
4.2.2	Nickel-Cadmium-Akkumulatoren . . . . .	135
4.2.3	Nickel-Metallhydrid- und Lithium-Ionen- Akkumulatoren . . . . .	135
4.2.4	Technische Eigenschaften von Akkumulatoren . . . . .	136
4.3	Netzgeräte . . . . .	137
4.4	Störungsfreie Versorgung mit Gleichspannung . . . . .	138
4.5	Die belastete Gleichspannungsquelle . . . . .	139
4.5.1	Reale Spannungsquelle . . . . .	139
4.5.2	Ermittlung des Innenwiderstandes. . . . .	142
4.5.3	Kurzschlussstrom. . . . .	143
4.5.4	Leerlauf . . . . .	144
4.5.5	Anpassungen . . . . .	144
4.6	Stromquelle . . . . .	146
4.7	Zusammenfassung: Gleichspannungsquellen . . . . .	147
<b>5</b>	<b>Berechnungen im unverzweigten Gleichstromkreis</b> . . . . .	149
5.1	Reihen- und Parallelschaltung von Zweipolen . . . . .	149
5.2	Reihenschaltung von ohmschen Widerständen . . . . .	150
5.3	Reihenschaltung von Kondensatoren. . . . .	155
5.4	Reihenschaltung von Spulen . . . . .	157
5.5	Reihenschaltung von Gleichspannungsquellen . . . . .	157
5.6	Reihenschaltung von Widerständen, Kondensatoren und Spulen . . . . .	158
5.6.1	Zusammenfassung von Bauelementen. . . . .	158
5.6.2	Reihenschaltung von Kondensator und $R$ oder $L$ . . . . .	158
5.6.3	Reihenschaltung einer Spule mit $R$ oder $C$ . . . . .	159

5.7	Reihenschaltung in der Praxis . . . . .	159
5.7.1	Ersatz von Bauteilen . . . . .	159
5.7.2	Vorwiderstand . . . . .	159
5.7.3	Spannungsabfall an Leitungen . . . . .	160
5.7.4	Spannungsteiler . . . . .	161
5.8	Zusammenfassung: Berechnungen im unverzweigten Gleichstromkreis . . . . .	161
6	<b>Messung von Spannung und Strom.</b> . . . . .	163
6.1	Voltmeter und Amperemeter . . . . .	163
6.2	Erweiterung des Messbereiches eines Voltmeters . . . . .	167
6.3	Indirekte Messung von Widerstand und Leistung . . . . .	168
7	<b>Schaltvorgänge im unverzweigten Gleichstromkreis.</b> . . . . .	171
7.1	Schaltvorgang beim ohmschen Widerstand . . . . .	172
7.1.1	Widerstand einschalten . . . . .	172
7.1.2	Widerstand ausschalten . . . . .	172
7.2	Schaltvorgang beim Kondensator . . . . .	173
7.2.1	Kondensator laden (einschalten) . . . . .	173
7.2.2	Kondensator ausschalten . . . . .	176
7.2.3	Kondensator entladen. . . . .	176
7.2.4	Exponentialfunktion von Spannung und Strom . . . . .	177
7.3	Schaltvorgang bei der Spule . . . . .	182
7.3.1	Spule einschalten . . . . .	182
7.3.2	Spule ausschalten (mit Abschalt-Induktionsstromkreis) . . . . .	183
7.3.3	Spule ausschalten (ohne Abschalt-Induktionsstromkreis) . . . . .	185
7.3.4	Zeitverlauf von Spannung und Strom . . . . .	189
7.4	Zusammenfassung: Schaltvorgänge im unverzweigten Gleichstromkreis . . . . .	190
8	<b>Der verzweigte Gleichstromkreis.</b> . . . . .	191
8.1	Die Kirchhoff'schen Gesetze. . . . .	192
8.1.1	Die Knotenregel (1. Kirchhoff'sches Gesetz) . . . . .	192
8.1.2	Die Maschenregel (2. Kirchhoff'sches Gesetz) . . . . .	193
8.2	Berechnung von Parallelschaltungen. . . . .	194
8.2.1	Parallelschaltung von ohmschen Widerständen . . . . .	194
8.2.2	Die Stromteilerregel . . . . .	197
8.2.3	Parallelschaltung von Kondensatoren . . . . .	199
8.2.4	Parallelschaltung von Spulen. . . . .	199
8.2.5	Parallelschaltung von Gleichspannungsquellen. . . . .	199
8.3	Parallelschaltung in der Praxis. . . . .	200
8.3.1	Ersatz von Bauteilen . . . . .	200

8.3.2	Erweiterung des Messbereiches eines Amperemeters . . . . .	201
8.3.3	Der belastete Spannungsteiler . . . . .	203
8.3.4	Berechnung des belasteten Spannungsteilers. . . . .	204
8.4	Gemischte Schaltungen . . . . .	206
8.5	Stern-Dreieck- und Dreieck-Stern-Umwandlung . . . . .	208
8.6	Umwandlung von Quellen . . . . .	211
8.7	Analyse von Netzwerken . . . . .	213
8.7.1	Die Maschenanalyse . . . . .	214
8.7.2	Die Knotenanalyse . . . . .	221
8.7.3	Der Überlagerungssatz. . . . .	225
8.7.4	Der Satz von der Ersatzspannungsquelle. . . . .	227
8.7.5	Bestimmung des Innenwiderstandes eines Netzwerkes. . . . .	234
8.8	Vierpole . . . . .	236
8.9	Zusammenfassung: Der verzweigte Gleichstromkreis . . . . .	237
<b>9</b>	<b>Wechselspannung und Wechselstrom . . . . .</b>	<b>239</b>
9.1	Grundlegende Betrachtungen. . . . .	239
9.2	Entstehung der Sinuskurve, Liniendiagramm . . . . .	246
9.3	Relevanz sinusförmiger Wechselgrößen . . . . .	249
9.4	Kennwerte von Wechselgrößen . . . . .	250
9.4.1	Periodendauer . . . . .	250
9.4.2	Frequenz. . . . .	251
9.4.3	Kreisfrequenz. . . . .	251
9.4.4	Wellenlänge . . . . .	252
9.4.5	Amplitude . . . . .	253
9.4.6	Spitze-Spitze-Wert . . . . .	253
9.4.7	Effektivwert . . . . .	254
9.4.8	Gleichrichtwert . . . . .	258
9.4.9	Nullphasenwinkel . . . . .	260
9.4.10	Phasenverschiebung . . . . .	261
9.5	Zusammenfassung: Kennwerte von Wechselgrößen . . . . .	265
9.6	Zeigerdiagramm. . . . .	266
9.6.1	Zeigerdarstellung von Sinusgrößen . . . . .	266
9.6.2	Phasenverschiebungswinkel im Zeigerdiagramm . . . . .	269
9.7	Zusammenfassung: Zeigerdiagramm. . . . .	271
9.8	Zusammensetzung von Wechselspannungen . . . . .	271
9.9	Oberschwingungen . . . . .	274
9.9.1	Fourier-Reihen . . . . .	276
9.9.2	Beispiel zur Fourier-Analyse . . . . .	279
9.9.3	Bedeutung der Fourier-Analyse . . . . .	282
9.9.4	Klirrfaktor . . . . .	284

<b>10</b>	<b>Komplexe Darstellung von Sinusgrößen</b>	285
10.1	Grundbegriffe der komplexen Rechnung	285
10.1.1	Rechenregeln für imaginäre Zahlen	290
10.1.2	Rechenregeln für komplexe Zahlen	291
10.1.3	Vorteile komplexer Zahlen	295
10.1.4	Sinusförmige Wechselspannung in komplexer Darstellung	299
10.1.5	Der komplexe Widerstand	305
10.2	Zusammenfassung: Komplexe Darstellung von Sinusgrößen	308
<b>11</b>	<b>Einfache Wechselstromkreise</b>	311
11.1	Ohm'scher Widerstand im Wechselstromkreis	312
11.2	Spule im Wechselstromkreis	315
11.3	Kondensator im Wechselstromkreis	319
11.4	Reihenschaltung aus ohmschem Widerstand und Spule	323
11.4.1	Komplexer Frequenzparameter „ $s$ “	323
11.4.2	Anwendung von $s$ bei der $RL$ -Reihenschaltung	324
11.5	Reihenschaltung aus ohmschem Widerstand und Kondensator	330
11.6	$RC$ -Reihenschaltung in der Praxis	333
11.6.1	Die Übertragungsfunktion	333
11.6.2	Verstärkungsmaß, Dezibel	337
11.6.3	Bode-Diagramm	339
11.6.4	Dämpfung	340
11.6.5	Grenzfrequenz	340
11.6.6	Normierte Übertragungsfunktion	340
11.6.7	Der $RC$ -Tiefpass	341
11.6.8	Bode-Diagramme mit Mathcad	345
11.6.9	Filterung eines gestörten Sinussignals	349
11.6.10	Der $RC$ -Hochpass	350
11.7	Reihenschaltung aus Spule, Widerstand und Kondensator	353
11.8	Parallelschaltung aus Widerstand und Spule	354
11.9	Parallelschaltung aus Widerstand und Kondensator	355
11.10	Zusammenfassung: Einfache Wechselstromkreise	356
<b>12</b>	<b>Ersatzschaltungen für Bauelemente</b>	359
12.1	Die elektrische Leitung	360
12.2	Widerstand mit Eigenkapazität und Eigeninduktivität	361
12.3	Verluste in Spulen	361
12.3.1	Wicklungsverluste	361
12.3.2	Verluste durch den Skineneffekt	362
12.3.3	Hystereseverluste	363
12.3.4	Wirbelstromverluste	364

12.4	Verluste im Kondensator .....	364
12.5	Zusammenfassung: Ersatzschaltungen für Bauelemente .....	365
<b>13</b>	<b>Leistung im Wechselstromkreis .....</b>	<b>367</b>
13.1	Reine Wirkleistung .....	367
13.2	Reine Blindleistung .....	369
13.3	Wirk- und Blindleistung .....	371
13.4	Scheinleistung .....	372
13.5	Blindleistungskompensation .....	374
13.6	Zusammenfassung: Leistung im Wechselstromkreis .....	376
<b>14</b>	<b>Transformatoren (Übertrager) .....</b>	<b>379</b>
14.1	Grundprinzip .....	379
14.2	Transformator mit Eisenkern .....	380
14.3	Der ideale Transformator .....	382
14.3.1	Transformation der Spannungen .....	383
14.3.2	Transformation der Stromstärken .....	384
14.3.3	Transformation des Widerstandes .....	384
14.4	Der verlustlose Transformator ohne Streuung .....	385
14.5	Der verlustlose Transformator mit Streuung .....	386
14.6	Der reale Transformator .....	388
14.7	Frequenzverhalten des NF-Übertragers .....	388
14.8	Übertrager zwischen ohmschen Widerständen .....	389
14.8.1	Idealer Übertrager unter Vernachlässigung der Wicklungswiderstände .....	389
14.8.2	Idealer Übertrager mit Wicklungswiderständen .....	390
14.9	Spezielle Ausführungen von Transformatoren .....	394
14.10	Zusammenfassung: Transformatoren (Übertrager) .....	394
<b>15</b>	<b>Schwingkreise .....</b>	<b>397</b>
15.1	Reihenschwingkreis ohne Verluste .....	397
15.2	Reihenschwingkreis mit Verlusten .....	401
15.3	Parallelschwingkreis ohne Verluste .....	413
15.4	Parallelschwingkreis mit Verlusten .....	414
15.5	Zeitverhalten elektrischer Schwingkreise .....	425
15.6	Grundsätzliche Kopplungsarten .....	426
15.6.1	Galvanische Kopplung .....	427
15.6.2	Induktive Kopplung .....	427
15.6.3	Kapazitive Kopplung .....	427
15.6.4	Fußpunktkopplung .....	427
15.7	Bandfilter .....	428
15.8	Kopplungsarten bei Bandfiltern .....	430
15.8.1	Transformatorische Kopplung .....	430

15.8.2	Induktive Kopplung mit Koppelspule . . . . .	431
15.8.3	Kapazitive Kopfpunktkopplung . . . . .	431
15.8.4	Kapazitive Fußpunktkopplung . . . . .	432
15.9	Zusammenschaltung von Schwingkreisen . . . . .	432
15.9.1	$RLC$ -Bandpass . . . . .	432
15.9.2	$RLC$ -Bandsperre . . . . .	433
15.10	Zusammenfassung: Schwingkreise . . . . .	434
<b>16</b>	<b>Mehrphasensysteme . . . . .</b>	<b>437</b>
16.1	Erzeugung von Drehstrom . . . . .	437
16.1.1	Sternschaltung des Generators . . . . .	439
16.1.2	Dreieckschaltung des Generators . . . . .	442
16.2	Verbraucher im Drehstromsystem . . . . .	442
16.2.1	Sternschaltung des Verbrauchers mit Mittelleiter . . . . .	442
16.2.2	Sternschaltung des Verbrauchers ohne Mittelleiter . . . . .	444
16.2.3	Dreieckschaltung des Verbrauchers . . . . .	449
16.3	Leistung bei Drehstrom . . . . .	451
16.4	Zusammenfassung: Mehrphasensysteme . . . . .	452
<b>17</b>	<b>Analyse allgemeiner Wechselstromnetze . . . . .</b>	<b>455</b>
<b>18</b>	<b>Halbleiterdioden . . . . .</b>	<b>469</b>
18.1	Der pn-Übergang ohne äußere Spannung . . . . .	469
18.2	Der pn-Übergang mit äußerer Spannung . . . . .	473
18.2.1	Äußere Spannung in Durchlassrichtung . . . . .	473
18.2.2	Äußere Spannung in Sperrrichtung . . . . .	476
18.2.3	Vollständige Kennlinie eines pn-Übergangs . . . . .	479
18.3	Beschreibung der Diode durch Gleichungen . . . . .	481
18.3.1	Shockley-Gleichung . . . . .	481
18.3.2	Vereinfachung für den Durchlassbereich . . . . .	482
18.3.3	Vereinfachung für den Sperrbereich . . . . .	483
18.4	Linearisierung der Durchlasskennlinie in einem Arbeitspunkt . . . . .	485
18.4.1	Arbeitspunkt . . . . .	485
18.4.2	Gleichstromwiderstand . . . . .	486
18.4.3	Wechselstromwiderstand . . . . .	486
18.5	Näherungen für die Diodenkennlinie . . . . .	488
18.5.1	Die ideale Diode . . . . .	488
18.5.2	Berücksichtigung der Schleusenspannung . . . . .	488
18.5.3	Berücksichtigung des Bahnwiderstandes . . . . .	489
18.6	Kenn- und Grenzwerte von Dioden . . . . .	496
18.7	Schaltverhalten von Dioden . . . . .	497
18.7.1	Diode einschalten . . . . .	498
18.7.2	Diode ausschalten . . . . .	498

18.8	Temperaturabhängigkeit der Diodenkennlinie. ....	500
18.8.1	Temperaturabhängigkeit des Sperrstromes ....	500
18.8.2	Temperaturabhängigkeit der Durchlassspannung ....	501
18.9	Diode und Verlustleistung ....	502
18.10	Arten von Dioden. ....	508
18.10.1	Universaldioden ....	508
18.10.2	Spezialdioden. ....	509
18.11	Arbeitspunkt und Widerstandsgerade ....	526
18.11.1	Widerstandsgerade, einfache Anleitung. ....	527
18.11.2	Widerstandsgerade, rechnerisches Verfahren. ....	529
18.11.3	Widerstandsgerade, Strahlensatz ....	530
18.11.4	Mathematische Näherungslösung durch Iteration ....	531
18.12	Anwendungen von Dioden. ....	536
18.12.1	Gleichrichtung von Wechselspannungen ....	536
18.12.2	Schutzdiode, Freilaufdiode ....	551
18.12.3	Eingangsschutzschaltung. ....	552
18.12.4	Begrenzung einer Wechselspannung ....	553
18.13	Zusammenfassung: Halbleiterdioden. ....	554
<b>19</b>	<b>Bipolare Transistoren</b> ....	<b>557</b>
19.1	Definition und Klassifizierung von Transistoren ....	557
19.2	Aufbau des Bipolartransistors ....	559
19.3	Richtung von Strömen und Spannungen beim Transistor ....	561
19.4	Wirkungsweise. ....	562
19.5	Die drei Grundsaltungen des Transistors ....	568
19.6	Betriebsarten ....	568
19.6.1	Verstärkerbetrieb ....	568
19.6.2	Schalterbetrieb ....	570
19.7	Kennlinien des Transistors in Emitterschaltung. ....	573
19.7.1	Eingangskennlinie ....	573
19.7.2	Übertragungskennlinie (Steuerkennlinie) ....	578
19.7.3	Ausgangskennlinien. ....	586
19.7.4	Vierquadranten-Kennlinienfeld, Arbeitspunkt, Lastgerade ....	594
19.8	Abhängigkeiten der Stromverstärkung ....	596
19.8.1	Stromverstärkung in Abhängigkeit von Arbeitspunkt und Temperatur ....	596
19.8.2	Stromverstärkung in Abhängigkeit der Grundsaltung ....	598
19.8.3	Stromverstärkung in Abhängigkeit der Frequenz, Grenzfrequenzen ....	600
19.9	Wahl des Arbeitspunktes ....	603
19.9.1	Erlaubter Arbeitsbereich ....	603

19.9.2	Betriebsarten als Verstärker . . . . .	604
19.10	Die Grundsaltungen im Detail . . . . .	606
19.10.1	Die Emitterschaltung . . . . .	606
19.10.2	Die Basisschaltung . . . . .	612
19.10.3	Die Kollektorschaltung . . . . .	614
19.11	Rückkopplung . . . . .	617
19.11.1	Allgemeine Folgen der Gegenkopplung . . . . .	620
19.11.2	Emitterstufe mit Gegenkopplung . . . . .	624
19.12	Ersatzschaltungen des Transistors . . . . .	627
19.12.1	Die formale Ersatzschaltung . . . . .	627
19.12.2	Die physikalische Ersatzschaltung . . . . .	632
19.13	Spezielle Schaltungen mit Bipolartransistoren . . . . .	637
19.13.1	Darlington-Schaltung . . . . .	637
19.13.2	Bootstrap-Schaltung . . . . .	637
19.13.3	Kaskodeschaltung . . . . .	638
19.13.4	Konstantstromquelle . . . . .	639
19.13.5	Differenzverstärker . . . . .	641
19.13.6	Selektivverstärker . . . . .	644
19.13.7	Oszillatoren . . . . .	645
19.14	Der Transistor als Schalter . . . . .	646
19.14.1	Schalttransistor im Sperrzustand . . . . .	647
19.14.2	Schalttransistor im Durchlasszustand . . . . .	648
19.14.3	Dynamisches Schaltverhalten . . . . .	649
19.14.4	Verkürzung der Schaltzeiten . . . . .	651
19.14.5	Beispiele für die Anwendung von Schalttransistoren . . . . .	652
19.15	Transistoren in der Digitaltechnik . . . . .	659
19.15.1	Kodes, Logische Funktionen, Schaltalgebra . . . . .	659
19.15.2	Schaltungstechnische Realisierung der logischen Grundfunktionen . . . . .	664
19.16	Zusammenfassung: Bipolare Transistoren . . . . .	669
<b>20</b>	<b>Feldeffekttransistoren . . . . .</b>	<b>673</b>
20.1	Bezeichnungen und Klassifizierung . . . . .	673
20.2	Sperrschicht-FET (JFET) mit n-Kanal . . . . .	678
20.2.1	Aufbau und Arbeitsweise . . . . .	678
20.2.2	Kennlinien und Arbeitsbereiche des JFETs . . . . .	679
20.3	NMOS Transistor (MOSFET mit n-Kanal) . . . . .	684
20.3.1	Aufbau und Arbeitsweise . . . . .	684
20.3.2	Kennlinien des MOSFETs . . . . .	688
20.4	p-Kanal MOS (PMOS) Transistor . . . . .	692
20.4.1	Anschlüsse . . . . .	692
20.4.2	Dynamische Parameter . . . . .	692

20.5	Schaltungstechnik mit einzelnen FETs (Beispiele) . . . . .	693
20.5.1	Die drei Grundsaltungen des Feldeffekttransistors . . . . .	693
20.5.2	Verstärkerbetrieb . . . . .	694
20.5.3	Betrieb als steuerbarer Widerstand . . . . .	696
20.5.4	Konstantstromquelle mit FET . . . . .	697
20.5.5	Der FET als Schalter . . . . .	697
20.5.6	Inversdiode . . . . .	698
20.5.7	Lowside-, Highside-Schalter . . . . .	699
20.6	Grundlagen der CMOS Technik . . . . .	706
20.6.1	Der CMOS Inverter . . . . .	706
20.6.2	Das Transfer-Gatter . . . . .	708
20.7	Zusammenfassung: Feldeffekttransistoren . . . . .	710
<b>21</b>	<b>Operationsverstärker</b> . . . . .	<b>713</b>
21.1	Begriffe, Anwendungsbereiche . . . . .	713
21.2	Interner Aufbau von Operationsverstärkern . . . . .	714
21.3	Eigenschaften des Operationsverstärkers . . . . .	716
21.3.1	Leerlaufspannungsverstärkung . . . . .	716
21.3.2	Eingangswiderstände, Eingangsströme . . . . .	717
21.3.3	Ausgangswiderstand . . . . .	717
21.3.4	Übertragungskennlinie . . . . .	718
21.3.5	Gleichtaktverstärkung, Gleichtaktunterdrückung . . . . .	719
21.3.6	Offsetspannung . . . . .	720
21.3.7	Frequenzverhalten . . . . .	721
21.3.8	Sprungverhalten . . . . .	724
21.4	Der ideale Operationsverstärker . . . . .	724
21.5	Einsatz von Operationsverstärkern . . . . .	725
21.5.1	Grundsaltungen . . . . .	725
21.5.2	Anwendungsbeispiele . . . . .	738
21.6	Zusammenfassung: Operationsverstärker . . . . .	743
	<b>Anhang</b> . . . . .	<b>745</b>
	<b>Literatur</b> . . . . .	<b>755</b>
	<b>Stichwortverzeichnis</b> . . . . .	<b>757</b>