

Inhalt

1	Elektrischer Strom.....	19
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
2	Der unverzweigte Gleichstromkreis.....	37
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 Gleichstromkreis63

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	Kenngrößen von Spulen.....	110
3.4.9	Magnetische Kreise.....	111
3.5	Zusammenfassung: Die Spule.....	115
4	Gleichspannungsquellen.....	117
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
5	Berechnungen im unverzweigten Gleichstromkreis	131
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
6	Messung von Spannung und Strom	143
6.1	Voltmeter und Amperemeter	143
6.2	Erweiterung des Messbereiches eines Voltmeters	146
6.3	Indirekte Messung von Widerstand und Leistung	147
7	Schaltvorgänge im unverzweigten Gleichstromkreis	149
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
8	Der verzweigte Gleichstromkreis	163
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
9	Wechselspannung und Wechselstrom.....	199
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 ^(M)	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 ^(M)	219
9.7.2	Beispiel zur Fourier-Analyse ^(M)	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
10	Komplexe Darstellung von Sinusgrößen.....	225
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
11	Einfache Wechselstromkreise	239
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
12	Ersatzschaltungen für Bauelemente.....	279
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
13	Leistung im Wechselstromkreis.....	285
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
14	Transformatoren (Übertrager).....	293
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
15	Schwingkreise.....	307
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
16	Mehrphasensysteme.....	337
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
17	Analyse allgemeiner Wechselstromnetze	349
18	Halbleiterdioden.....	361
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 Wechselspannung	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 α , β und γ	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	Wechselspannungsverstärkung	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	Wechselspannungsverstärkung	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	Wechselspannungsverstärkung	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
20	Feldeffekt-Transistoren	489
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
21	Operationsverstärker	503
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
	Literaturverzeichnis	517
	Stichwortverzeichnis	519