

Inhalt

1	Physikalische Grundlagen der Halbleiterelektronik	13
1.1	Leitfähigkeit von Halbleitern	13
1.1.1	Eigenleitung	13
1.1.2	Halbleiter mit Störstellen	15
1.2	Ladungsträgergeneration in Halbleitern	19
1.3	Ladungsträgertransport in Halbleitern	20
1.4	Aufgaben	21
2	Berechnungsmethoden elektronischer Schaltungen	22
2.1	Analysemethoden und -werkzeuge zur Schaltungsberechnung	23
2.1.1	Ersatzschaltbilder	25
2.1.2	Groß- und Kleinsignalanalyse	26
2.1.3	Kleinsignalersatzschaltung	27
2.2	Vierpoldarstellung	28
2.3	Zusammenschaltung von Vierpolen	32
2.4	Vierpole mit äußerer Beschaltung	33
2.5	Darstellung des Übertragungsverhaltens	34
2.6	Signalflussdarstellung	36
2.7	Computergestützte Netzwerkanalyse	37
2.8	Aufgaben	39
3	Halbleiterdioden	41
3.1	pn-Übergang	41
3.1.1	Wirkprinzip	41
3.1.2	Strom-Spannungs-Kennlinie	45
3.1.3	Ladungsspeicherung	46
3.2	Kleinsignalverhalten	47
3.3	Schaltverhalten	50
3.4	Temperaturverhalten	52
3.5	Spezielle Dioden und ihre Anwendungen	53
3.5.1	Gleichrichterdiode	53
3.5.2	Z-Diode	56
3.5.3	Kapazitätsdiode	58
3.5.4	Tunneldiode	60
3.5.5	Schottky-Diode	60
3.6	Mikrowellendioden	61
3.6.1	IMPATT-Diode	61
3.6.2	Gunn-Diode	62
3.7	Aufgaben	63

4	Bipolartransistoren	65
4.1	Wirkprinzip	65
4.2	Strom-Spannungs-Kennlinie	67
4.3	Nutzbarer Betriebsbereich	72
4.4	Bipolartransistor als Verstärker	74
4.4.1	Kleinsignalmodell des Bipolartransistors	75
4.4.2	Frequenzabhängigkeit des Übertragungsverhaltens des Bipolartransistors	78
4.5	Temperaturverhalten von Bipolartransistoren	83
4.6	Arbeitspunktabhängigkeit der Stromverstärkung	85
4.7	Bipolartransistor als elektronischer Schalter	86
4.7.1	Schaltung eines Transistorschalters	86
4.7.2	Stationäres Schaltermodell des Bipolartransistors	87
4.7.3	Dynamisches Verhalten eines Transistorschalters	88
4.8	Aufgaben	91
5	Thyristoren	95
5.1	Aufbau und Wirkungsweise	95
5.2	Thyristorvarianten	97
5.3	Anwendungen von Thyristoren	98
5.4	Aufgaben	101
6	Feldeffekttransistoren	102
6.1	MOSFET	103
6.1.1	Wirkprinzipien verschiedener MOSFET-Typen	103
6.1.2	Strom-Spannungs-Kennlinie eines MOSFET	104
6.1.3	Ableitung der Strom-Spannungs-Kennlinie eines MOSFET	108
6.1.4	MOSFET als Verstärker	110
6.1.4.1	Kleinsignalmodell des MOSFET	110
6.1.4.2	Frequenzabhängigkeit des Übertragungsverhaltens	113
6.1.4.3	Effekte bei integriertem MOSFET	114
6.1.5	MOSFET als elektronischer Schalter	115
6.1.6	Thermisches Verhalten des MOSFET	117
6.2	Sperrschicht-FET	118
6.2.1	Strom-Spannungs-Kennlinie eines SFET	119
6.2.2	Kleinsignalverhalten eines SFET	119
6.3	SFET als Verstärker	120
6.4	Aufgaben	122
7	Rauschen elektronischer Bauelemente	125
7.1	Widerstandsrauschen	125
7.2	Diodenrauschen	127
7.3	Transistorrauschen	128
7.4	Rauschspannung	129
7.5	Rauschfaktor	130
7.6	Aufgabe	132

8	Operationsverstärker	133
8.1	Der ideale Operationsverstärker	133
8.2	Aufbau eines Operationsverstärkers	134
8.3	Statische Kenngrößen realer Operationsverstärker	135
8.4	Dynamische Kenngrößen realer Operationsverstärker	139
8.5	Verstärkerschaltungen mit Operationsverstärker	140
8.5.1	Grundsaltungen eines Spannungsverstärkers	141
8.5.2	Kompensation von Offsetspannung und Offsetstrom des Operationsverstärkers	142
8.6	Dynamisches Verhalten von Operationsverstärkerschaltungen	143
8.7	Rauschen in Operationsverstärkern	145
8.8	Moderne Operationsverstärkertypen	146
8.9	Aufgaben	148
9	Optoelektronische Bauelemente und Halbleitersensoren	150
9.1	Fotosensoren	150
9.2	Leuchtdioden	153
9.3	Optokoppler	156
9.4	Spezielle Halbleitersensoren	156
9.4.1	Temperatursensoren	156
9.4.2	Magnetfeldsensoren	158
9.4.3	Piezowandler	159
9.5	Aufgaben	160
10	Lineare Verstärkergrundsaltungen	162
10.1	Allgemeines Kleinsignalmodell eines Spannungsverstärkers	162
10.2	Einstufige Verstärker mit Bipolartransistoren	164
10.2.1	Emitterschaltung	165
10.2.2	Basisschaltung	173
10.2.3	Kollektorschaltung (Emitterfolger)	175
10.2.4	Vergleich der einstufigen Transistorverstärkerschaltungen	177
10.3	Einstufige Verstärker mit Feldeffekt-Transistoren	178
10.4	Grundsaltungen mit mehreren Transistoren	179
10.4.1	Kaskodeschaltung	179
10.4.2	Differenzverstärker	181
10.4.3	Stromspiegel	185
10.4.4	Differenzverstärker mit Stromspiegellast	188
10.4.5	Transistor-Stromquellen	189
10.4.6	Darlington-Schaltung	192
10.4.7	Leistungsendstufen	193
10.5	Frequenzverhalten von Verstärkerstufen	199
10.6	Kopplung von Verstärkerstufen	200
10.7	Aufgaben	201

11	Gegenkopplung	206
11.1	Allgemeines Modell der Gegenkopplung	206
11.2	Schaltungsarten der Gegenkopplung	208
11.3	Effekte der Gegenkopplung	209
11.3.1	Einstellung eines definierten Übertragungsfaktors	209
11.3.2	Linearisierung des Übertragungsfaktors	209
11.3.3	Parameterempfindlichkeit	211
11.3.4	Einfluss der Gegenkopplung auf Ein- und Ausgangsimpedanz	212
11.3.5	Übertragungsbandbreite	214
11.3.6	Miller-Effekt	215
11.3.7	Bootstrap-Effekt	216
11.3.8	Gezielte Beeinflussung des Frequenzganges eines Verstärkers	216
11.4	Anwendungen der Gegenkopplungsvarianten	217
11.4.1	Operationsverstärkerschaltungen mit Gegenkopplung	217
11.4.2	Transistorschaltungen mit Gegenkopplung	219
11.5	Stabilität rückgekoppelter Verstärker	222
11.6	Frequenzgangkorrektur von Verstärkern	225
11.7	Aufgaben	227
12	Schaltungen mit Operationsverstärkern	229
12.1	Lineare Verstärker	229
12.1.1	Nicht invertierender Verstärker	229
12.1.2	Invertierender Verstärker	230
12.2	Rechenschaltungen	231
12.2.1	Addierer	231
12.2.2	Subtrahierer	232
12.2.3	Differenzierer	235
12.2.4	Integrator	238
12.2.5	Multiplizierer	241
12.2.6	Dividierer	242
12.3	Nichtlineare Schaltungen	242
12.4	Komparatoren und Schmitt-Trigger	243
12.5	Stromquellen	245
12.6	Schaltungstechnik mit modernen Operationsverstärkern	246
12.6.1	VC-OPV und seine Anwendung	246
12.6.2	CV-OPV als Hochfrequenz-Baublock	248
12.6.3	CC-OPV und seine Anwendung als idealer Transistor	250
12.7	Elektronische Regler	251
12.7.1	P-Regler	252
12.7.2	PI-Regler	252
12.7.3	PID-Regler	253
12.8	Aufgaben	256

13	Filterschaltungen	257
13.1	Filtereigenschaften und Kennwerte	257
13.2	Passive Filter	262
13.3	Aktive RC-Filter	266
13.3.1	Tiefpässe 2. Ordnung	266
13.3.2	Hochpässe 2. Ordnung	271
13.3.3	Bandpässe 2. Ordnung	274
13.3.4	Bandsperren 2. Ordnung	278
13.4	Universalfilter	280
13.5	SC-Filter	281
13.5.1	SC-Integrator	281
13.5.2	Schaltungsrealisierung von SC-Filtern	283
13.6	Aufgaben	284
14	Schwingungserzeugung	286
14.1	Sinusoszillatoren	286
14.1.1	Zweipoloszillatoren	286
14.1.2	Vierpoloszillatoren	289
14.1.2.1	Grundstruktur und Schwingbedingung	289
14.1.2.2	RC-Oszillatoren	290
14.1.2.3	LC-Oszillatoren	293
14.1.2.4	Quarzoszillatoren	295
14.2	Impulsoszillatoren	298
14.2.1	Funktionsgeneratoren	298
14.2.2	Relaxationsoszillatoren	299
14.2.2.1	Dreieck-Rechteck-Generator	299
14.2.2.2	Kippschaltungen	300
14.3	Aufgaben	302
15	Frequenzumsetzer	303
15.1	Amplitudenmodulation	304
15.1.1	AM-Modulatoren	305
15.1.2	AM-Demodulatoren	307
15.2	Frequenzmodulation	310
15.2.1	FM-Modulatoren	313
15.2.2	FM-Demodulatoren	314
15.3	Phasenmodulation	315
15.3.1	PM-Modulatoren	316
15.3.2	PM-Demodulatoren	317
15.4	Mischer	317

16	Stromversorgungseinheiten	321
16.1	Gleichrichterschaltungen	321
16.2	Spannungsstabilisierung	325
16.2.1	Ungeregelte Stabilisierungsschaltungen	326
16.2.2	Kontinuierliche Spannungsregler	326
16.2.3	Diskontinuierliche Spannungsregler	328
16.2.3.1	Drosselregler	329
16.2.3.2	Ladungspumpen	333
16.3	Erzeugung von Referenzspannungen	335
16.3.1	Referenzspannungsquellen mit Z-Dioden	335
16.3.2	Bandgap-Referenz	336
16.4	Schaltnetzteile	338
16.5	Aufgaben	341
17	Analog/Digital- und Digital/Analog-Wandler	342
17.1	Kennwerte von A/D- und D/A-Wandlern	343
17.1.1	Stationäre Kennwerte	343
17.1.2	Dynamische Kennwerte	346
17.2	A/D-Wandlungsverfahren	347
17.2.1	A/D-Wandlung nach dem Zählverfahren	349
17.2.2	A/D-Wandlung mit sukzessiver Approximation	350
17.2.3	A/D-Wandlung nach dem Parallelverfahren	351
17.2.4	Folding-Interpolating A/D-Wandler	352
17.2.5	A/D-Wandlung nach dem Pipeline-Verfahren	353
17.2.6	Sigma-Delta-Wandler	354
17.3	D/A-Wandlungsverfahren	356
17.3.1	D/A-Wandlung nach dem Zählverfahren	358
17.3.2	D/A-Wandlung nach dem Wägeverfahren	358
17.3.3	D/A-Wandlung nach dem Parallelverfahren	362
17.3.4	Fehlerkorrigierende D/A-Wandlung	362
17.4	Aufgaben	363
	Formelzeichen	365
	Literatur	369
	Index	373