

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
Einleitung	XV
1 Grundlagen der bipolaren Bauelemente	1
1.1 Technologie Grundlagen Bipolar	1
1.1.1 Der PN-Übergang	1
1.1.2 Das Bändermodell des Bipolartransistors	2
1.1.3 Thermischer Widerstand	4
1.1.4 Kühlung	6
1.2 Bipolare Bauelemente	7
1.2.1 Die Diode	7
1.2.2 Ermittlung der Kenngrößen von Dioden	7
1.2.3 Die Diodengleichung	8
1.2.4 Die Diodenkennlinie	11
1.3 Die Diode als Gleichrichter	14
1.3.1 Die Einweg-Gleichrichtung	14
1.3.2 Die Zweiweg-Gleichrichtung	16
1.3.3 Die Brücken-Gleichrichtung	18
1.3.4 Die Zener-Diode	20
1.3.5 LED	21
1.3.6 LRD	21
1.3.7 Laser-Dioden	23
1.3.8 DIAC und TRIAC	24
1.3.9 Der Thyristor	25
1.3.10 Beispiel eines Windmessers, der mit Dioden arbeitet	27
1.4 Arbeitspunktbestimmung einer Diodenschaltung	27
1.5 Der Bipolartransistor	32
1.5.1 Bezeichnung der Spannungen und Ströme des Bipolartransistors	32
1.5.2 Bipolartransistor-Modelle	33
1.5.3 Die Kennlinien des Bipolartransistors	36
1.5.4 Die Arbeit mit dem Kennlinienfeld	40
1.5.5 Spannungsgegenkopplung und Stromgegenkopplung	55
1.5.6 Der Bipolartransistor als Schalter	56
1.6 Transistor-Grundschaltungen	64
1.6.1 Die Basisschaltung	64

1.6.2	Die Kollektorschaltung	71
1.6.3	Die Emitterschaltung	72
1.7	Stromspiegel mit Bipolartransistoren	74
1.8	Verstärkertechniken	80
1.8.1	Klasse-A-Verstärker	80
1.8.2	Klasse-B-Verstärker	83
1.8.3	Klasse-AB-Verstärker	92
1.9	Der bipolare Operationsverstärker	104
1.9.1	Der Differenzverstärker	104
1.9.2	Die differentielle Treiberstufe	107
1.9.3	Wesentliche Charakteristika des Operationsverstärkers (OP)	110
1.10	Der Endstufen-Entwurf	112
1.10.1	Endstufentreiber	112
1.10.2	Die Endstufe	114
1.10.3	Anpassung der Ausgangsimpedanz des Verstärkers zur Eingangsimpedanz der Lautsprecher	116
1.11	Verständnisfragen	117
2	Grundlagen der MOS-Bauelemente	121
2.1	Technologiegrundlagen MOS	121
2.1.1	Parasitäre Bipolartransistoren in CMOS-Prozessen und deren Effekte	123
2.2	Der MOS-Transistor	125
2.2.1	Transistor-Strukturaufbau	126
2.2.2	Die elektrischen Felder des Transistors	128
2.2.3	Die Geometrien des Transistors	129
2.2.4	Die Schwellspannung V_T	130
2.2.5	Der Backbias-Effekt	131
2.2.6	Der Varaktor	133
2.2.7	MOS-Transistor-Arbeitsgebiete	136
2.2.8	Kleinsignalverhalten	142
2.2.9	Transistorkapazitäten	144
2.2.10	Rauschen	145
2.2.11	Spezifische Rauschquellen	146
2.2.12	Rauschanalyse in der Praxis	149
2.3	Analyse- und Auswertverfahren	153
2.3.1	Die Zeitkonstante und der RC-Tiefpass	153
2.3.2	Analysearten	157
2.4	CMOS-Anologschaltungstechniken	160
2.4.1	Der hierarchische Aufbau von elektronischen Schaltungen	160
2.4.2	Der Signalschalter (Transfergate)	161
2.5	Der CMOS-Stromspiegel – Grundschatungstechnik	168

2.6	Der CMOS-Inverter	174
2.6.1	CMOS-Grundinverter	174
2.6.2	Kleinsignalverhalten	176
2.6.3	CMOS-Inverter mit Diodenlast	178
2.6.4	Inverter mit Diodenlast – Kleinsignalverhalten	182
2.6.5	Kaskode-Inverter	182
2.7	Analoge Verstärkerschaltungen	186
2.7.1	Source-Schaltung	186
2.7.2	Drainschaltung	195
2.7.3	Gate-Schaltung	196
2.8	Der CMOS-Operationsverstärker	197
2.8.1	Die Differenzeingangsstufe eines zweistufigen OP	197
2.8.2	Die Endstufe des zweistufigen Operationsverstärker	204
2.8.3	Der einstufige Operationsverstärker oder OTA	211
2.8.4	PSRR und CMRR	215
2.8.5	Einschwingverhalten	218
2.9	Rauschen von Verstärkern	220
2.10	Verständnisfragen	222
3	Schaltungstechniken mit Operationsverstärkern	227
3.1	Operationsverstärker-Grundschaltungstechniken	227
3.1.1	Der invertierende Operationsverstärker	227
3.1.2	Der nicht invertierende Operationsverstärker	231
3.1.3	Addierer und Subtrahierer	232
3.1.4	Der vollsymmetrische Operationsverstärker	237
3.1.5	Die Halteschaltung: Sample & Hold – Signalabtaster	239
3.1.6	Das invertierende aktive Tiefpassfilter	247
3.1.7	Das aktive Filter als MATLAB-/SIMULINK-Modell	248
3.1.8	Der Integrator	252
3.1.9	Der Differenzierer	256
3.1.10	Der Komparator	260
3.1.11	Der CU-Wandler	263
3.1.12	Die Bandgap	265
3.1.13	Die Bandgap-gesteuerte Stromquelle und Spannungsquelle	272
3.1.14	Präzisionsstromspiegel	276
3.2	SC-Schaltungstechnik	278
3.2.1	Der SC-Verstärker oder SC-AMP	282
3.2.2	Der SC-Differenzverstärker	289
3.2.3	Der SC-Integrator	291
3.2.4	Der Komparator in SC-Technik	293
3.2.5	Rauschen von Operationsverstärkern	303
3.2.6	Der Diskretisierungsfehler	305
3.3	Verständnisfragen	311

4	Signalwandler	313
4.1	Klassische Signalwandler	313
4.1.1	Verständnis-Aufbau des Signalwandlungsprozesses	314
4.1.2	Zählverfahren: Das 2-Rampen-Verfahren	314
4.1.3	Sukzessiver Approximationswandler – SAR ADC	317
4.1.4	Der Digital-Analog-Wandler – DAC	326
4.2	Nichtklassische Wandler	329
4.2.1	Der Sigma-Delta-Wandler – einführende Bemerkungen	329
4.2.2	Das Sigma-Delta-Verfahren	330
4.2.3	Der zeitkontinuierliche Sigma-Delta-Wandler	336
4.2.4	Der zeitdiskrete Sigma-Delta-Wandler	340
4.2.5	MASH-Sigma-Delta-Wandler	346
4.2.6	Schaltungsbeispiele von Sigma-Delta-Wandlern	353
4.2.7	Das Dezimierfilter	362
4.3	Zeit-Digital-Wandler (Time to Digital Converter)	365
4.3.1	Die Digitale Verzögerungskette – Digital Delay Line	365
4.3.2	Spannung/Strom – Frequenz-Wandler (Voltage to Frequency Converter VFC)	378
4.4	Verständnisfragen	381
5	Analoge Filter	385
5.1	Grundüberlegungen, Filterschablonen, mathematische Besonderheiten	385
5.1.1	Klasseneinteilung und Typenzuordnung von Filtern	386
5.1.2	Filterschablonen	387
5.1.3	Analyse eines Filters – Systemtheoretische Grundlagen und Begriffe	388
5.1.4	Methodik der Knotenspannungsanalyse	404
5.2	Die wichtigsten Filter, ihre Dimensionierung und Simulation	409
5.2.1	Das Allpassfilter (APF)	409
5.2.2	Das aktive Allpassfilter	415
5.2.3	Das aktive Filter 1. Ordnung	418
5.2.4	Das Audio-Klangfilter	419
5.2.5	Das Doppel-T-Filter	426
5.2.6	Das Sallen-Key-Filter	428
5.2.7	Das Biquad-Filter	434
5.3	SC-Filter	441
5.3.1	Schlusswort zur Filtersimulation	446
5.4	Verständnisfragen	446
Literatur		451
Index		461