

Inhaltsverzeichnis

1 Modelle ausgewählter Halbleiterbauelemente	1
1.1 Physikalische Grundlagen, die Halbleitergrundgleichungen.....	2
1.2 Modelle für pn-Übergänge und pn-Dioden	3
1.2.1 pn-Diode im Gleichgewicht.....	4
1.2.2 pn-Diode mit äußerer Spannung	6
1.2.3 Ideale Diode (Shockley-Gleichung)	10
1.2.4 Dynamisches Verhalten der Diode	12
1.2.5 Reale Dioden	15
1.2.6 Großsignalmodell der Diode	16
1.2.7 Kleinsignalmodell der Diode.....	16
1.2.8 Temperaturabhängigkeit des Diodenstroms	18
1.3 Modelle bipolarer Transistoren	19
1.3.1 Aufbau und Wirkungsweise des integrierten Bipolartransistors.....	19
1.3.2 Ebers-Moll-Modell (EMM)	23
1.3.3 Gummel-Poon-Modell (GPM)	31
1.3.4 Nichtideale Effekte.....	37
1.3.5 Kleinsignalmodell des bipolaren Transistors.....	39
1.3.6 Frequenzverhalten der Stromverstärkung.....	41
1.3.7 Großsignal-, Schaltverhalten	44
1.3.8 Modelle für pnp-Transistoren.....	46
1.4 Modelle des MOS-Feldeffekttransistors (MOSFET)	47
1.4.1 Prinzipieller Aufbau und Wirkungsweise des MOS-Feldeffekttransistors.....	47
1.4.2 Gradual Channel Approximation, Anreicherung, Verarmung, Inversion.....	51
1.4.3 Ladungen der MOS-Struktur	57
1.4.4 Substrateffekt.....	59
1.4.5 Kanalstrom am Beispiel des NMOS-Transistors, Basismodell	60
1.4.6 Verarmungstransistoren.....	67
1.4.7 P-Kanal-Transistoren.....	67
1.4.8 Nichtideale Effekte.....	68
1.4.9 Dynamisches Großsignalmodell des MOS-Transistors	75
1.5 Kleinsignal-Ersatzschaltbild des MOS-Transistors.....	77
1.6 Frequenzverhalten des MOS-Transistors	79
1.7 Literatur.....	81
2 Grundschaltungen und Schaltungskonzepte	83
2.1 Einstufige Grundschaltungen zur Kleinsignalverstärkung mit Widerstandslast	83
2.1.1 Gleichstrom - Arbeitspunkt	84

2.1.2 Emitter- und Source-Grundsaltung	86
2.1.3 Kollektor-Grundsaltung, Emitterfolger	91
2.1.4 Basis-Grundsaltung	93
2.2 Zweistufige bipolare Kleinsignalverstärker	94
2.3 Quellschaltungen	96
2.3.1 Konstantspannungsquellen, Referenzspannungsquellen	97
2.3.2 Konstantstromquelle, Stromspiegel	99
2.4 Einstufige CMOS-Verstärker	104
2.5 Differenzverstärker	106
2.5.1 Bipolarer Differenzverstärker	107
2.5.2 CMOS-Differenzverstärker	111
2.6 Digitale Grundsaltungen	112
2.6.1 Eigenschaften digitaler Inverter	112
2.6.2 CMOS-Inverter	117
2.6.3 CMOS-Gatterschaltungen	121
2.6.4 Bipolare digitale Grundsaltungen	125
2.6.5 BiCMOS-Logik	127
2.7 Literatur	129
3 Operationsverstärker, Komparatoren und rechnergestützter Entwurf	131
3.1 Operationsverstärker	131
3.1.1 Eigenschaften und Kenndaten von Operationsverstärkern	132
3.1.2 Prinzip der Gegenkopplung	137
3.1.3 Auswahl von Operationsverstärkern	142
3.1.4 Entwurf von Operationsverstärkern	142
3.1.5 Stabilität	143
3.1.6 Beispiel Bipolar Operationsverstärker	146
3.1.7 Beispiel CMOS Operationsverstärker	151
3.1.8 Beispiel Transkonduktanzverstärker	154
3.2 Komparatoren	156
3.2.1 Einstufige Komparatoren	157
3.2.2 Zweistufige Komparatoren	159
3.2.3 Komparatoren mit Hysterese	160
3.2.4 Komparatoren mit Selbstabgleich	163
3.3 Rechnergestützter Entwurf integrierter Schaltungen	165
3.3.1 Elementare Bauelemente	169
3.3.2 Spannungs- und Stromquellen	170
3.3.3 Modelle	172
3.3.4 Analysen	173
3.4 Literatur	176
4 Nichtidealitäten integrierter Schaltungen	179
4.1 Parasitäre Kapazitäten in der MOS-Schaltungstechnik	180
4.1.1 Spannungscharakteristik der MOS-Kapazität	180
4.1.2 Parasitäre Kapazitäten des MOS-Transistors	182

4.1.3 Kapazitätskomponenten der Diffusionsgebiete	185
4.1.4 Auswirkungen der parasitären Kapazitäten	187
4.2 Rauschen	188
4.2.1 Größen zur Beschreibung	189
4.2.2 Physikalische Ursachen und Rauschmodelle	195
4.2.3 Ersatzschaltbilder	200
4.2.4 Rechnergestützte Rauschanalyse	205
4.3 Parameterstreuungen und Genauigkeit bei integrierten Schaltungen	206
4.3.1 Physikalische Ursachen	206
4.3.2 Lokale und globale Streuungen, Mismatch	209
4.3.3 Flächen- und Distanzgesetz	211
4.3.4 Folgerungen für den Schaltungsentwurf	213
4.3.5 Beispiel	215
4.3.6 Genauere Modellierung - Spektralmodell	216
4.4 Literatur	220

5 Lineare Schaltungen

5.1 Aktive Filter	221
5.1.1 Grundlagen und Übersicht	222
5.1.2 Normierung	225
5.1.3 Toleranzschema	226
5.1.4 Filtertypen	226
5.1.5 Frequenztransformationen	228
5.1.6 Approximationsverfahren	230
5.1.7 Leapfrog-Filter	235
5.1.8 Kaskadensynthese aktiver Filter	237
5.2 SC-Filter	243
5.2.1 SC-Integrator der ersten Generation	244
5.2.2 SC-Schaltungen der zweiten Generation	247
5.2.3 SC-Filterblock ersten Grades	249
5.2.4 SC-Filterblock zweiten Grades	249
5.2.5 Integrierte SC-Filter	251
5.3 Abtast-Halteschaltung (Sample & Hold)	252
5.3.1 Klassifikation von Signalen, Abtasttheorem	252
5.3.2 Aufbau einer Abtast-Halteschaltung	256
5.3.3 Die wichtigsten Kenngrößen	256
5.3.4 Realisierung von S/H Schaltungen	257
5.4 Bandabstands-Referenz	260
5.5 Digital-Analog-Umsetzer (DAU)	264
5.5.1 Die wichtigsten Kenngrößen	265
5.5.2 Parallelverfahren	266
5.5.2 Indirekte (PWM)-DAU	271
5.5.3 Oversampling DAU	272
5.6 Analog-Digital Umsetzer	274
5.6.1 Einige Kenngrößen, Klassifizierung von ADU	275

5.6.2 Parallelverfahren	277
5.6.3 Wägeverfahren (Successive-Approximation)	280
5.6.4 Zählverfahren	282
5.6.5 Oversampling AD-Umsetzer	283
5.6.6 Delta-Sigma AD-Umsetzer ($\Delta\Sigma$ -ADC)	285
5.7 Literatur	288
6 Nichtlineare Schaltungen	289
6.1 Analog-Multiplizierer	289
6.1.1 Multifunktionskonverter	290
6.1.2 Zweiquadranten-Multiplizierer	292
6.1.3 Vierquadranten-Multiplizierer	293
6.1.4 CMOS-Multiplizierer	297
6.1.5 Anwendung von Multiplizierern	299
6.2 Der Phasenregelkreis (PLL)	303
6.2.1 Klassifikation von Phasenregelkreisen	303
6.2.2 Der lineare Phasenregelkreis (LPLL)	304
6.2.3 Digitaler Phasenregelkreis (DPLL)	317
6.2.4 Modell und Kenngrößen des DPLL	325
6.2.5 Der alles digital PLL (ADPLL)	326
6.2.6 Anwendungen des PLL	329
6.3 Oszillatoren	335
6.3.1 Lineare Oszillatoren	336
6.3.2 Nichtlineare Oszillatoren	337
6.3.3 Quasilineare Systeme zweiter Ordnung	339
6.3.4 LC-Oszillator-Grundsaltungen	342
6.3.5 Spannungsgesteuerte LC-Oszillatoren (VCO)	346
6.3.6 RC-Oszillatoren	350
6.3.7 Quarzoszillatoren	357
6.4 Funktionsgeneratoren	360
6.4.1 Relaxationsschwingungen	360
6.4.2 Schmitt-Trigger	363
6.4.3 Funktionsgeneratoren mit steuerbarer Frequenz	365
6.4.4 Emittergekoppelter Multivibrator	373
6.4.5 Digitale Funktionsgeneratoren	375
6.5 Literatur	376
7 Digitaltechnik	379
7.1 Einführung	379
7.2 Codes	380
7.2.1 Binärcode	380
7.2.2 Einschrittige Codes (Gray-Codes)	381
7.2.3 BCD-Codes	382
7.3 Schaltalgebra	383
7.3.1 Rechenregeln	384
7.3.2 Reihenfolge der Auswertung und Schreibweise	385

7.3.3 Kanonische disjunktive Normalform (KDNF)	386
7.3.4 Kanonische konjunktive Normalform (KKNF)	387
7.3.5 Darstellung im Karnaugh-Veitch-Diagramm	387
7.3.6 Unvollständig definierte Schaltfunktionen	389
7.3.7 Schaltnetze	390
7.4 Flipflops	391
7.4.1 RS-Flipflop	391
7.4.2 Taktgesteuertes RS-Flipflop	392
7.4.3 D-Flipflop	393
7.4.4 Taktflankengesteuertes D-Flipflop	393
7.4.5 Master-Slave-D-Flipflop	394
7.4.6 JK-Flipflop	395
7.4.7 T-Flipflop	395
7.5 Synchrone Schaltwerke	396
7.5.1 Aufbau eines Schaltwerks	396
7.5.2 Beispiel für die Entwicklung eines Schaltwerks	397
7.6 Standard-Schaltnetze	402
7.6.1 Multiplexer	402
7.6.2 Code-Wandler	402
7.6.3 Arithmetische Schaltungen	404
7.6.4 Zähler	406
7.7 Literatur	408
8 Programmierbare Logik und VHDL	411
8.1 Einführung	411
8.2 ASIC-Klassen	412
8.2.1 Full-Custom-IC	412
8.2.2 Semi-Custom-IC	413
8.2.3 Programmierbare Logik	415
8.3 PLD	416
8.3.1 PAL und PLA	417
8.3.2 CPLD	419
8.4 FPGA	420
8.4.1 Schematischer Aufbau eines FPGA	420
8.4.2 Programmierbare Logik-Blöcke	421
8.4.3 Ein- und Ausgabe-Blöcke (I/O-Blöcke)	424
8.4.4 Verbindungsressourcen	425
8.4.5 Programmier-Technologie	426
8.5 VHDL Einführung	427
8.5.1 Struktureller Entwurf mit VHDL	427
8.5.2 Strukturelle Elemente von VHDL	430
8.5.3 Elemente zur Verhaltensbeschreibung	435
8.5.4 VHDL-Beispiele	442
8.6 Literatur	445

9 Mikroprozessoren und Mikrocontroller	447
9.1 Grundsätzlicher Aufbau.....	447
9.1.1 Speicherorganisation.....	449
9.1.2 Befehlsformat	450
9.1.3 Befehlsausführung	450
9.1.4 Adressierungsarten.....	451
9.1.5 Befehle.....	452
9.1.6 Interrupt	455
9.1.7 Cache	456
9.1.8 Direct Memory Access	457
9.1.9 Pipeline	458
9.1.10 Architekturen	459
9.2 CISC-Mikroprozessoren.....	461
9.2.1 Einleitung.....	461
9.2.2 Aufbau des Intel 80386.....	461
9.2.3 Architektur des 80386.....	461
9.2.4 Register	462
9.2.5 Speicherorganisation.....	464
9.2.6 Task-Management	466
9.2.7 Paging	467
9.2.8 Berechnung der Adressen	468
9.2.9 Adressierungsarten.....	468
9.2.10 Interrupts.....	469
9.3 Mikrocontroller	471
9.3.1 Architektur des 68HC11	471
9.3.2 Register	473
9.3.3 Betriebsarten	474
9.3.4 Interrupts.....	475
9.3.5 Timer	476
9.3.6 Parallele Schnittstellen.....	478
9.3.7 Serielle Schnittstellen	479
9.3.8 AD-Wandler	479
9.3.9 Adressierungsarten.....	480
9.3.10 Befehle.....	482
9.4 Signalprozessoren.....	483
9.4.1 Einleitung.....	483
9.4.2 Architektur des TMS320C54x.....	483
9.4.3 Adressierung	491
9.4.4 Spezielle Befehle	493
9.4.5 Die Multiply-Accumulate-Befehle	493
9.5 Literatur.....	496
10 Netze, Busse, Schnittstellen	497
10.1 ISO-OSI-Referenzmodell.....	497
10.2 Verbindungsstrukturen	498
10.2.1 Repeater	498

10.2.2 Bridges.....	499
10.2.3 Router	499
10.2.4 Gateway	500
10.3 Busse	500
10.3.1 Bus-Arbitrierung	501
10.3.2 Topologie.....	502
10.3.3 Parallele Busse - serielle Busse	502
10.3.4 Schnittstellen	502
10.4 Beispiele für Bus-Systeme	503
10.4.1 LON-Bus	503
10.4.2 P-Net-Bus	504
10.4.3 CAN-Bus	506
10.4.4 Profi-Bus	507
10.4.5 Bitbus	508
10.4.6 InterBus-S.....	509
10.4.7 DIN-Messbus.....	510
10.5 Systembusse	511
10.5.1 ISA-Bus	511
10.5.2 EISA-Bus.....	512
10.5.3 MCA-Bus	512
10.5.4 VLB-Bus	512
10.5.5 PCI-Bus	512
10.5.6 VME-Bus.....	513
10.6 Peripheriebusse	513
10.6.1 IEC-Bus, IEEE 488-Bus.....	513
10.6.2 USB	514
10.6.3 SCSI-Bus	514
10.7 Netze	516
10.7.1 Klassifizierung.....	516
10.7.2 Ethernet /IEEE 802.3.....	516
10.7.3 Token-Ring, IEEE 802.5	518
10.7.4 Token-Bus, IEEE 802.4.....	518
10.7.5 ISDN.....	519
10.8 Schnittstellen	521
10.8.1 Centronics-Schnittstelle.....	522
10.8.2 RS232, V24	522
10.8.3 RS485	523
10.8.4 RS422	524
10.9 Literatur.....	524

Formelzeichen und Abkürzungen	525
--------------------------------------	------------

Sachwortverzeichnis	531
----------------------------	------------