

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung in die Elektronik	1
1.1	Grundlegende Konzepte	2
1.1.1	Ohmsches Gesetz	2
1.1.2	Knotenregel (1. Kirchhoffsches Gesetz)	5
1.1.3	Maschenregel (2. Kirchhoffsches Gesetz)	7
1.1.4	Parallelschaltung von Widerständen	8
1.1.5	Stromteiler	10
1.1.6	Reihenschaltung von Widerständen	11
1.1.7	Spannungsteiler	12
1.2	Zweipoltheorie	14
1.2.1	Zählpfeilsysteme	15
1.2.2	Ideale und lineare Stromquellen	16
1.2.3	Ideale und lineare Spannungsquellen	17
1.2.4	Ersatzstromquelle	19
1.2.5	Ersatzspannungsquelle	21
1.2.6	Superposition	24
1.3	Zweitorthetheorie	27
1.3.1	Ein- und Ausgangswiderstand	28
1.3.2	Zweitortheparameter	30
1.3.3	Gesteuerte ideale Quellen	39
	Zusammenfassung	41
2	Halbleiterphysik	43
2.1	Halbleitermaterialien	44
2.1.1	Ladungsträger im intrinsischen Halbleiter	46
2.1.2	Dotierung	50
2.1.3	Ladungsträger im extrinsischen Halbleiter	52
2.1.4	Verbindungshalbleiter	56

2.2	Stromtransportmechanismen	57
2.2.1	Driftstrom	58
2.2.2	Diffusionsstrom	64
2.2.3	Gesamtstrom	68
	Zusammenfassung	69
3	Diode	71
3.1	Struktur	72
3.2	Diode im thermischen Gleichgewicht	75
3.2.1	Funktionsprinzip	75
3.2.2	Diffusionsspannung	78
3.2.3	Elektrische Feldstärke	80
3.2.4	Weite der Raumladungszone	81
3.3	Diode mit angelegter Spannung	84
3.3.1	Sperrpolung	85
3.3.2	Flusspolung	88
3.3.3	Strom-Spannungs-Kennlinie	92
3.3.4	Temperaturverhalten	95
3.3.5	Durchbruchmechanismen	99
3.4	Modellierung der Diode	102
3.4.1	Ideales Diodenmodell	106
3.4.2	Diodenmodell mit konstantem Spannungsabfall	109
3.4.3	Diodenmodell mit konstantem Spannungsabfall und Widerstand	111
3.4.4	Diodenmodell für den Durchbruch	113
3.4.5	Zusammenfassung der Diodenmodelle und Analysemethoden	118
3.5	Anwendungen	119
3.5.1	Spannungsbegrenzung	120
3.5.2	Spannungsstabilisierung	126
3.5.3	Gleichrichtung	128
	Zusammenfassung	140
4	Bipolartransistor	143
4.1	Struktur und Zählfeilrichtungen	144
4.2	Betriebsbereiche	146
4.3	Funktionsweise und Stromgleichungen	149
4.3.1	Vorwärtsaktiver Betrieb	149
4.3.2	Rückwärtsaktiver Betrieb	156
4.3.3	Sättigungs- und Sperrbetrieb	159

4.4	Strom-Spannungs-Kennlinien	161
4.4.1	Eingangskennlinie $I_B = f(V_{BE})$	162
4.4.2	Übertragungskennlinie $I_C = f(V_{BE})$	163
4.4.3	Ausgangskennlinie $I_C = f(V_{CE})$	163
4.5	Modellierung des Bipolartransistors	166
4.5.1	Vorwärtsaktiver Betrieb	166
4.5.2	Rückwärtsaktiver Betrieb	169
4.5.3	Transportmodell	173
4.5.4	Sättigungs- und Sperrbetrieb	173
4.5.5	Zusammenfassung der Transistormodelle	177
4.6	Basisweitenmodulation oder Early-Effekt	177
4.7	<i>pnp</i> -Bipolartransistor	183
4.7.1	Vorwärtsaktiver Betrieb	183
4.7.2	Rückwärtsaktiver Betrieb	186
4.7.3	Sättigungsbetrieb	187
4.7.4	Sperrbetrieb	189
4.7.5	Transportmodell	190
4.7.6	Zusammenfassung der Transistormodelle	191
4.7.7	Basisweitenmodulation oder Early-Effekt	191
	Zusammenfassung	192
5	Feldeffekttransistor	195
5.1	Struktur und Zählpfeilrichtungen	196
5.2	Funktionsweise und Betriebsbereiche des FET	198
5.2.1	MOS-Kondensator	199
5.2.2	FET mit angelegter Gate-Spannung	202
5.2.3	FET mit angelegter Gate- und Drain-Spannung	204
5.3	Stromgleichungen	206
5.3.1	Triodenbereich	206
5.3.2	Sättigungsbereich	211
5.3.3	Sperrbereich	215
5.4	Strom-Spannungs-Kennlinien	216
5.4.1	Übertragungskennlinie $I_D = f(V_{GS})$	217
5.4.2	Ausgangskennlinie $I_D = f(V_{DS})$	217
5.5	Kanallängenmodulation	220
5.6	Body-Effekt	224
5.7	<i>p</i> -Kanal-Transistor	228
5.8	Zusammenfassung der Transistormodelle	232
5.9	CMOS-Technologie	233
5.10	Vergleich von Feldeffekt- und Bipolartransistoren	235
	Zusammenfassung	236

6 Kleinsignalmodellierung und Arbeitspunkteinstellung	239
6.1 Groß- und Kleinsignalverhalten	240
6.2 Arbeitspunkteinstellung beim Bipolartransistor	251
6.2.1 Rückkopplungswiderstand am Emitter	252
6.2.2 Rückkopplungswiderstand zwischen Kollektor und Basis	257
6.3 Arbeitspunkteinstellung beim Feldeffekttransistor	260
6.3.1 Rückkopplungswiderstand am Source	261
6.3.2 Rückkopplungswiderstand zwischen Drain und Gate	264
6.4 Kleinsignalmodellierung	266
6.4.1 Diode	266
6.4.2 Bipolartransistor	273
6.4.3 Feldeffekttransistor	281
6.4.4 Vergleich der Kleinsignalmodelle von Feldeffekt- und Bipolartransistoren	288
6.5 Groß- und Kleinsignalanalyse	291
Zusammenfassung	297
7 Grundschaltungen	299
7.1 Grundlegende Betrachtungen	300
7.2 Klassifizierung der Verstärkergrundschaltungen	305
7.3 Emitterschaltung	308
7.3.1 Emitterschaltung mit Degeneration	314
7.3.2 Emitterschaltung mit Basiswiderstand	319
7.3.3 Emitterschaltung mit Vorspannungsnetzwerk	322
7.4 Source-Schaltung	323
7.4.1 Source-Schaltung mit Degeneration	328
7.5 Basisschaltung	329
7.5.1 Basisschaltung mit Degeneration	335
7.5.2 Basisschaltung mit Basiswiderstand	337
7.5.3 Basisschaltung mit Vorspannungsnetzwerk	339
7.6 Gate-Schaltung	341
7.6.1 Gate-Schaltung mit Degeneration	342
7.7 Kollektorschaltung (Emitterfolger)	343
7.7.1 Kollektorschaltung mit Basiswiderstand	349
7.7.2 Kollektorschaltung mit Vorspannungsnetzwerk	351
7.8 Drain-Schaltung (Source-Folger)	352
7.9 Übersicht der wichtigsten Ergebnisse	353
Zusammenfassung	365
8 Operationsverstärker	367
8.1 Grundlegende Betrachtungen	368
8.2 Lineare gegengekoppelte Schaltungen mit idealen Operationsverstärkern	372

8.2.1	Invertierender Verstärker	372
8.2.2	Nichtinvertierender Verstärker	375
8.2.3	Spannungsfolger	378
8.2.4	Addierverstärker	379
8.2.5	Subtrahierverstärker	380
8.2.6	Instrumentationsverstärker	384
8.2.7	Integrator und Differenzierer	385
8.3	Nichtlineare gegengekoppelte Schaltungen mit idealen Operationsverstärkern	392
8.3.1	Präzisionsgleichrichter	392
8.3.2	Logarithmischer Verstärker	397
8.3.3	Exponentieller Verstärker	399
8.3.4	Wurzelverstärker	400
8.4	Nichtlineare mitgekoppelte Schaltungen	401
8.4.1	Komparator	401
8.4.2	Bistabile Kippstufe oder Schmitt-Trigger	403
8.4.3	*Astabile Kippstufe	409
8.4.4	*Monostabile Kippstufe	413
8.5	*Nichtidealer Operationsverstärker	416
8.5.1	Spannungsverstärkung	418
8.5.2	Eingangswiderstand	425
8.5.3	Ausgangswiderstand	433
8.5.4	Eingangs-Offset-Spannung	439
8.5.5	Eingangsstrom und Eingangs-Offset-Strom	443
8.5.6	Ausgangsspannungshub	448
8.5.7	3-dB-Grenzfrequenz und -Bandbreite	449
8.5.8	Anstiegs- und Abfallrate der Ausgangsspannung	457
8.5.9	Leistungsbandbreite	462
	Zusammenfassung	463
9	Einführung in die rechnergestützte Schaltungssimulation mit SPICE	465
9.1	Netzlisten	466
9.2	Netzwerkelemente	468
9.2.1	Widerstände	470
9.2.2	Kondensatoren und Spulen	471
9.2.3	Unabhängige Spannungs- und Stromquellen	473
9.2.4	Gesteuerte Quellen	478
9.2.5	Dioden	479
9.2.6	Bipolartransistoren	480
9.2.7	Feldeffekttransistoren	482
9.2.8	Operationsverstärker	485

9.3	Bauelementmodelle	488
9.3.1	Dioden	489
9.3.2	Bipolartransistoren	490
9.3.3	Feldeffekttransistoren	493
9.4	Analysearten	497
9.4.1	Arbeitspunktanalyse (.OP)	497
9.4.2	Gleichstromanalyse (.DC)	498
9.4.3	Wechselstromanalyse (.AC)	500
9.4.4	Transientenanalyse (.TRAN)	502
	Zusammenfassung	504
Anhang A Spannungsverlauf der astabilen Kippstufe		507
Anhang B Übersetzungstabelle Englisch-Deutsch		511
Anhang C Schaltzeichen		531
Anhang D Formeln zur Berechnung von Ein- und Ausgangswiderständen		537
Anhang E Einheiten und Umrechnungsfaktoren		543
Anhang F Physikalische Konstanten und Materialeigenschaften		547
Literatur		549
Stichwortverzeichnis		551