

Inhaltsverzeichnis

1 Halbleiterwerkstoffe	13
1.1 Reine Halbleiter	13
1.2 Verbindungshalbleiter	13
1.3 Kristallaufbau	13
1.4 Eigenleitung	16
1.5 Dotierung von Halbleitermaterial	17
1.5.1 n-Leitung	18
1.5.2 p-Leitung	19
1.6 Herstellungsverfahren für p- und n-dotierte Siliziumkristalle	20
1.6.1 Legierung	20
1.6.2 Diffusion	21
1.6.3 Ionenimplantation	22
2 pn-Übergang	23
2.1 pn-Übergang ohne angelegte Spannung	23
2.2 pn-Übergang mit angelegter Außenspannung	25
2.2.1 n-Gebiet an Plus- und p-Gebiet an Minuspol einer Spannungsquelle	25
2.2.2 n-Gebiet an Minus- und p-Gebiet an Pluspol einer Spannungsquelle	27
3 Halbleiterdioden	29
3.1 Diodenkennlinie	29
3.1.1 Kennlinie für den Durchlaßbereich	29
3.1.2 Kennlinie für den Sperrbereich	32
3.1.3 Kennlinien von Ge- und Si-Dioden	33
3.2 Kenndaten von Dioden	33
3.3 Grenzdaten für Dioden	34
3.4 Datenblatt	34
3.5 Prüfung von Dioden	36
3.6 Temperaturverhalten von Dioden	37
3.7 Verlustleistung bei Dioden	38
3.8 Reihenschaltung von Gleichrichterioden	38
3.9 Parallelschaltung von Dioden	39
3.10 Bauformen von Dioden	39
3.10.1 Spitzendioden oder Punktkontaktdioden	39
3.10.2 Silizium-Flächendioden in Planartechnik	40
3.10.3 Schottky-Dioden	41
4 Einsatz von Halbleiterdioden in Schaltungen	43
4.1 Gleichrichterschaltungen mit Halbleiterdioden	43
4.1.1 Einwegschtaltung	43
4.1.2 Mittelpunktschtaltung	46
4.1.3 Brückenschtaltung	47
4.2 Gleichrichterschaltungen mit Ladeondensator	50
4.3 Drehstrom-Sternschaltung (DS)	53

4.4	Drehstrom-Brückenschaltung (DB)	54
4.5	Spannungsvervielfacherschaltungen	55
4.5.1	Spannungsvervielfachung nach Siemens und Villard	55
4.5.2	Spannungsverdopplung nach Greinacher und Delon	57
4.6	Begrenzer- und Stabilisierungsschaltungen	57
4.7	Dioden als Schalter	59
5	Z-Dioden	65
5.1	Funktion und Kennlinien	65
5.1.1	Zenereffekt	65
5.1.2	Avalanche-Effekt	66
5.1.3	Differentieller Widerstand r_z	67
5.2	Grenz- und Kennwerte	71
5.3	Funktionsprüfung	71
5.4	Grundschtaltung	71
5.4.1	Berechnungsgrundlagen	71
5.4.2	Kurzschluß und Leerlauf bei der Grundschtaltung	74
5.4.3	Glättungsfaktor G	75
5.4.4	Innenwiderstand r_i	76
5.4.5	Temperaturgang TK	78
5.5	Abwandlungen der Grundschtaltung	79
5.6	Reihenschaltung von Z-Dioden	83
5.7	Anwendungsbeispiele	83
5.7.1	RZ-Glied zur Siebung	83
5.7.2	Z-Diode als Begrenzer	84
5.7.3	Z-Diode zur Potentialverschiebung	85
6	Kapazitätsdioden	87
6.1	Aufbau und Wirkungsweise	87
6.2	Kenn- und Grenzwerte	88
6.3	Datenblatt, Bauformen	90
6.4	Anwendungen	90
7	Bipolare Transistoren	95
7.1	Aufbau	95
7.2	Funktion	96
7.3	Bezeichnung der Ströme und Spannungen	98
7.4	Funktionsprüfung	99
7.5	Grenz- und Kennwerte	100
7.6	Kennlinien	106
8	Der bipolare Transistor als Verstärker	111
8.1	Arbeitspunkteinstellung	118
8.2	Arbeitspunktstabilisierung	123
8.2.1	Arbeitspunktstabilisierung durch Spannungsgegenkopplung	124
8.2.2	Arbeitspunktstabilisierung durch Stromgegenkopplung	126
8.3	Verstärkergrundschtaltungen	129
8.3.1	Emitter-Grundschtaltung	129
8.3.2	Kollektorschaltung	130
8.3.3	Basisschtaltung	132
8.4	Darlingtonschaltung	133
8.5	Differenzverstärker	135

8.6	Leistungsstufen	137
8.6.1	Parallelschaltung von Bipolartransistoren	137
8.6.2	A- und B-Betrieb	138
8.6.3	Eintaktverstärker	138
8.6.4	Gegentaktverstärker	140
9	Bipolare Transistoren als Schalter	143
9.1	Die Arbeitspunkte im Kennlinienfeld	144
9.2	Pegelbezeichnungen, Störspannungsabstand	146
9.3	Unterschiedliche Belastungen des Schaltverstärkers	150
9.3.1	Ohmsch-induktive Last	150
9.3.2	Ohmsch-kapazitive Last	152
9.3.3	Glühlampenlast	152
10	Kippschaltungen mit bipolaren Transistoren	155
10.1	Schmitt-Trigger	155
10.2	Bistabile Kippschaltung	158
10.3	Monostabile Kippschaltung	160
10.4	Astabile Kippschaltung	163
11	Feldeffekttransistoren (FET)	165
11.1	Sperrschicht-Feldeffekttransistoren, pn-FET	166
11.1.1	Prinzipielle Wirkungsweise des pn-FET	166
11.1.2	Kennlinien des Sperrschicht-FET	168
11.1.3	Grenz- und Kenndaten von Sperrschicht-FET	168
11.2	MOS-Feldeffekttransistoren	172
11.2.1	Selbstsperrender MOS-FET	173
11.2.2	Selbstleitender MOS-FET	175
11.2.3	Kenn- und Grenzwerte von MOS-Feldeffekttransistoren	177
11.3	MOS-Leistungs-Feldeffekttransistoren	177
11.3.1	Aufbau von MOS-Leistungstransistoren	178
11.3.2	Grenz- und Kenndaten von MOS-Leistungs-FET	179
12	Linearverstärker mit Feldeffekttransistoren	181
12.1	Sourceschaltung	181
12.1.1	Wirkungsweise der Sourceschaltung mit Sperrschicht-FET	181
12.1.2	Automatische Arbeitspunkteinstellung bei der Sourceschaltung mit pn-FET	184
12.1.3	Sourceschaltung mit MOS-FET	186
12.2	Drainschaltung	187
12.3	Kombination von Feldeffekt- mit Bipolartransistoren	189
12.4	Feldeffekttransistor als spannungsgesteuerter Widerstand	191
13	Feldeffekttransistor als Schalter	193
13.1	Schaltstufen mit n- oder p-Kanal-MOS-FET	193
13.2	Schaltstufe in CMOS-Technologie	195
13.3	Schaltstufen mit VMOS-Leistungstransistoren	196
13.4	Analogschalter mit Feldeffekttransistoren	197
14	Operationsverstärker	199
14.1	Aufbau, Wirkungsweise und Eigenschaften	199
14.1.1	Schaltungsaufbau, Arten von Operationsverstärkern	199
14.1.2	Idealer und realer Operationsverstärker	203

14.1.3	Kenndaten – Grenzdaten – Datenblatt	205
14.1.4	Grundsätzlicher Betrieb des Verstärkers	213
14.2	Der Operationsverstärker und seine Grundschaltungen	214
14.2.1	Rückkopplung – Gegenkopplung – Mitkopplung	214
14.2.2	Invertierender Verstärker	215
14.2.3	Nichtinvertierender Verstärker	220
14.2.4	Impedanzwandler	225
14.2.5	Summierverstärker	226
14.2.6	Differenzverstärker	229
14.2.7	Integrator	232
14.2.8	Anwendung ohne Rückführung – Komparator	235
14.2.9	Betrieb mit Mitkopplung – Schmitt-Trigger	237
15	Thyristoren	241
15.1	Rückwärtssperrende Thyristortriode (Thyristor)	241
15.1.1	Aufbau und Wirkungsweise des Thyristors	241
15.1.2	Kennlinien des Thyristors	244
15.1.3	Schaltverhalten (dynamisches Verhalten)	246
15.1.4	Kenn- und Grenzwerte	249
15.1.5	Datenblatt, Bauformen	251
15.1.6	Schutzmaßnahmen gegen Überspannung und Überstrom	253
15.1.7	Prüfung von Thyristoren	253
15.1.8	Anwendung von Thyristoren am Wechselstromnetz	255
15.1.9	Thyristor am Gleichstromnetz, Gleichstromschalter	260
15.2	GTO-Thyristor (Abschaltthyristortriode)	262
15.2.1	Aufbau und Wirkungsweise	262
15.2.2	Kenn- und Grenzwerte	263
15.3	Thyristortetrode (PUT)	263
15.3.1	Aufbau und Wirkungsweise	263
15.3.2	Kenn- und Grenzwerte	264
15.3.3	Anwendungen	264
15.4	Vierschichtdiode (rückwärtssperrende Thyristordiode)	265
15.4.1	Aufbau und Wirkungsweise	265
15.4.2	Kenn- und Grenzwerte	266
15.4.3	Anwendung	267
15.5	Triac (Zwei richtungs-Thyristortriode)	267
15.5.1	Aufbau und Wirkungsweise	267
15.5.2	Kenn- und Grenzwerte	269
15.5.3	Datenblatt, Bauformen	269
15.5.4	Schutzbeschaltungen	272
15.5.5	Prüfmethoden	272
15.5.6	Anwendungen	272
15.6	Diac (Zwei richtungs-Thyristordiode)	272
15.6.1	Aufbau und Wirkungsweise	273
15.6.2	Datenblatt	274
15.6.3	Anwendung von Diac und Triac als Phasenanschnittsteuerung	275
16	Unijunction-Transistor	277
16.1	Aufbau und Wirkungsweise	277
16.2	Kennlinie	278
16.3	Kenn- und Grenzwerte des Silizium-Unijunction-Transistors 2N2646	279
16.4	Anwendungen	280

17 Zündschaltungen für Thyristor und Triac	283
17.1 Phasenanschnittsteuerung mit Thyristor und UJT	283
17.2 Phasenanschnittsteuerung mit IC	284
17.3 Entstörung und Blindleistung bei Phasenanschnittsteuerungen	286
17.4 Nullspannungsschalter	288
17.4.1 Elektronische Lastrelais	289
17.4.2 Datenblatt eines ELR	292
17.5 Schwingungspaketsteuerung	293
18 Optoelektronik	295
18.1 Physikalische Grundlagen	295
18.1.1 Entstehung von Lichtstrahlung	295
18.1.2 Frequenz und Wellenlänge	297
18.1.3 Optische Strahlung	297
18.1.4 Empfänger und Senderbauelemente	298
18.1.5 Fotoelektrischer Effekt	299
18.2 Optoelektronische Empfängerbauteile	300
18.2.1 Fotowiderstand (LDR)	300
18.2.2 Fotoelement und Solarzelle	304
18.2.3 Fotodiode	307
18.2.4 Fototransistor	312
18.2.5 Fotothyristor	314
18.3 Optoelektronische Senderbauteile	315
18.3.1 Aufbau und Wirkungsweise	316
18.3.2 Eigenschaften von LED und IRED	317
18.3.3 Kenn- und Grenzdaten	318
18.3.4 Anwendung von Lumineszenzdioden	320
18.4 Optoelektronische Systeme mit Sender und Empfänger	324
18.4.1 Optoelektronisches Koppelement (Optokoppler)	324
18.4.2 Optische Strahlschranken (Lichtschranken)	329
18.4.3 Informationsübertragung mit Infrarotstrahlung	332
18.5 Anzeigeeinheiten (Displays)	335
18.5.1 LED-Displays	335
18.5.2 Flüssigkristallanzeigen (LCD)	341
18.5.3 Vakuum-Fluoreszenz-Displays	348
18.5.4 Kaltkathoden-Ziffernanzeigeröhre	349
19 Hallgeneratoren und Feldplatten	351
19.1 Hallgeneratoren	351
19.1.1 Grundlagen des Halleffekts und Widerstandseffekts	351
19.1.2 Funktion von Hallgeneratoren	352
19.1.3 Aufbau von Hallgeneratoren	353
19.1.4 Datenblatt eines Hallgenerators	354
19.1.5 Grenzdaten eines Hallgenerators	356
19.1.6 Kennlinien und Kenndaten	356
19.1.7 Anwendung von Hallgeneratoren	361
19.2 Feldplatten	366
19.2.1 Funktion von Feldplatten	366
19.2.2 Aufbau von Feldplatten	367
19.2.3 Datenblatt einer Feldplatte	368
19.2.4 Grenzdaten einer Feldplatte	368
19.2.5 Kennlinien und Kenndaten	369
19.2.6 Anwendung von Feldplatten	372

20 Elektronische Strom- und Spannungsquellen	377
20.1 Elektronische Konstantstromquellen	378
20.1.1 Konstantstromquelle mit Feldeffekttransistor	378
20.1.2 Konstantstromquelle mit Bipolartransistor	381
20.1.3 Konstantstromquelle mit Operationsverstärker	382
20.2 Konstantspannungsquellen	383
20.2.1 Konstantspannungsquelle mit Z-Diode	386
20.2.2 Querstabilisierung mit Transistor	387
20.2.3 Spannungsregler mit Längstransistor	388
20.2.4 Geregelte Konstantspannungsquelle mit Operationsverstärker	392
20.2.5 Konstantspannungsquelle mit Strombegrenzung	392
20.2.6 Geschaltete Konstantspannungsquellen	394
21 Grundlagen der Digitaltechnik	397
21.1 Das dezimale Zahlensystem	397
21.2 Signalisierung der dezimal dargestellten Informationen	398
21.3 Das duale Zahlensystem	398
21.4 Signalisierung dual dargestellter Informationen	400
21.5 Zahlenumwandlung	401
21.6 Dualcodes	404
21.6.1 Reiner Dualcode	405
21.6.2 8-4-2-1-BCD-Code	405
21.7 Logische Operationen	407
21.7.1 Die NICHT-Funktion	409
21.7.2 Die UND-Funktion	412
21.7.3 Die ODER-Funktion	414
21.7.4 Die NAND-Funktion	416
21.7.5 Die NOR-Funktion	419
21.8 Einführung in die Schaltalgebra	422
21.8.1 Funktionsgleichungen	422
21.8.2 Inversionsgesetze nach de Morgan	425
21.8.3 Minimierung von Funktionsgleichungen	429
21.8.4 Fallstudie	435
22 Kühlung von Bauelementen	441
22.1 Wärmeableitung	441
22.2 Berechnung der maximal zulässigen Verlustleistung	445
22.3 Kühlkörperberechnung	447
23 Technischer Anhang	449
23.1 Bezeichnungsschema für Halbleiterbauelemente	449
23.2 Gehäusebauformen von Halbleiterbauelementen	451
23.3 Kühlkörperbauformen	457
Stichwortverzeichnis	465