

Ekbert Hering · Klaus Bressler · Jürgen Gutekunst

Elektronik für Ingenieure und Naturwissenschaftler

Unter Mitarbeit von

Horst-Herbert Austmann

Jürgen Langner

Werner Laveure

Rolf Martin

Manfred Reichert

Johann Strauß

Werner Streib †

Fünfte, aktualisierte Auflage

Mit 754 Abbildungen und 119 Tabellen

Inhalt

1	Grundlagen der Elektrotechnik	1
1.1	Physikalische Größen und Einheiten	1
1.2	Grundbegriffe	1
1.2.1	Ladung	1
1.2.2	Elektrischer Strom	3
1.2.3	Elektrische Spannung	3
1.2.4	Widerstand und Leitwert	5
1.2.5	Elektrische Arbeit und elektrische Leistung	6
1.2.6	Ohmsches Gesetz	7
1.2.7	Richtungssinn	8
1.2.8	Bildzeichen	8
1.3	Elektrische Netze – Kirchhoffsche Regeln	9
1.3.1	Knotenregel (1. Kirchhoffsches Gesetz)	9
1.3.2	Maschenregel (2. Kirchhoffsches Gesetz)	10
1.3.3	Anwendung der Kirchhoffschen Gesetze	10
1.3.3.1	Reihenschaltung von Widerständen	10
1.3.3.2	Parallelschaltung von Widerständen	11
1.3.3.3	Meßbereichserweiterung	13
1.3.3.4	Ausgewählte Meßanordnungen	14
1.4	Grafische Verfahren zur Ermittlung von Strömen und Spannungen	16
1.4.1	Reihenschaltung mit linearem Widerstand und einem Kaltleiter (PTC)	16
1.4.2	Reihenschaltung mit linearem Widerstand und zwei nichtlinearen Bauelementen (Z-Dioden)	17
1.4.3	Schaltungskombination aus linearem Widerstand, Kaltleiter und Heißleiter	18
1.5	Maschen- und Knotenanalyse	19
1.5.1	Ersatzspannungs- und Ersatzstromquelle	20
1.5.1.1	Ersatzspannungsquelle	20
1.5.1.2	Ersatzstromquelle	21
1.5.1.3	Äquivalente Zweipole	21
1.5.2	Lineare Überlagerung (Superpositionsprinzip nach HELMHOLTZ)	21
1.5.3	Berechnung elektrischer Netzwerke	22
1.5.3.1	Lösung linearer Gleichungssysteme	22
1.5.3.2	Maschenstromanalyse (Kreisstromverfahren)	25
1.5.3.3	Knotenspannungsanalyse (Knotenpotentialanalyse)	26
1.5.3.4	Vergleich der Maschenstrom- und Knotenspannungsanalyse	28
1.5.4	Brückenschaltungen	28
1.5.4.1	Berechnung mit der Maschenanalyse	28
1.5.4.2	Berechnung mit der Methode der Ersatzspannungsquelle	29
1.6	Grundlagen der Wechselstromlehre	30
1.6.1	Grundlagen komplexer Rechnung	30
1.6.1.1	Reelle, imaginäre und komplexe Zahlen	30
1.6.1.2	Rechnen mit komplexen Zahlen	32
1.6.2	Kenngrößen	34
1.6.2.1	Wechselspannung und Wechselstrom	34

1.6.2.2	Effektivwert und Halbschwingungsmittelwert	35
1.6.2.3	Scheitelfaktor (Crestfaktor)	36
1.6.2.4	Formfaktor	36
1.6.3	Komplexe Rechnung im Wechselstromkreis	36
1.6.3.1	Zeigerdarstellung komplexer Größen	37
1.6.3.2	Ohmsches Gesetz	37
1.6.3.3	Verhalten der Bauelemente	39
1.6.3.4	Reihen- und Parallelschaltung	39
1.6.3.5	Äquivalente Umwandlungen	43
1.6.3.6	Zusammengesetzte Schaltungen	44
1.6.4	Nicht sinusförmige Wechselgrößen	45
1.6.5	Dämpfung und Verstärkung	46
1.6.6	Shannonsches Abtasttheorem	49
1.7	Messung elektrischer Größen	51
1.8	Grundlagen der Halbleiterphysik	51
1.8.1	Materialien	51
1.8.2	Energiebänder	55
1.8.3	Ladungsträgerkonzentration	57
1.8.3.1	Eigenleitung	57
1.8.3.2	Störstellenleitung	60
1.8.4	Beweglichkeit	62
1.8.5	Leitfähigkeit	63
1.8.6	Ausgleichsvorgänge	64
1.8.6.1	Zeitverhalten	65
1.8.6.2	Räumliche Ausbreitung einer Störung	65
1.8.7	pn-Übergang	67
1.8.7.1	Feld- und Potentialverlauf	67
1.8.7.2	Strom-Spannungs-Kennlinie	69
1.9	Herstellung kompletter Schaltungen	72
1.9.1	Leiterplatten	72
1.9.2	Streifenleiter	75
1.9.3	SMT (Surface Mounted Technology)	76
1.9.4	Dickschicht-Technologie	80
1.9.5	Dünnschicht-Technologie	83
1.9.6	Hybrid-Technologie	85
1.10	Bezeichnung elektrischer Größen	86
2	Passive Bauelemente	87
2.1	Elektronische Bauelemente	87
2.1.1	Übersicht	87
2.1.2	Anforderungen und Anwendungsklassen	87
2.1.3	Zuverlässigkeit	88
2.1.3.1	Ursachen eines Ausfalls	89
2.1.3.2	Mittlere Ausfallrate	89
2.1.3.3	Durchschnittliche Lebensdauer	91
2.1.3.4	Herstellgrenzqualität	91
2.1.4	Normreihen	92

2.1.5	Klassifikation von diskreten Halbleiter-Bauelementen	92
2.1.6	Datenblätter	94
2.2	Widerstände	94
2.2.1	Übersicht über die Widerstände	95
2.2.2	Lineare Festwiderstände	95
2.2.2.1	Drahtwiderstände	99
2.2.2.2	Schichtwiderstände	100
2.2.2.3	Metallglasurwiderstände	100
2.2.3	Nichtlineare Widerstände	100
2.2.3.1	Heißeleiter (NTC-Widerstände)	101
2.2.3.2	Silicium-Widerstände	103
2.2.3.3	Kaltleiter (PTC-Widerstände)	104
2.2.3.4	Spannungsabhängige Widerstände (Varistoren, VDR)	104
2.2.3.5	Magnetfeldabhängige Widerstände (Feldplatten)	106
2.2.4	Einstellbare Widerstände (Potentiometer)	107
2.3	Kondensatoren	108
2.3.1	Übersicht über die Kondensatoren	109
2.3.2	Kondensatoren mit dünnen Folien als Dielektrikum	113
2.3.2.1	Aufbau	113
2.3.2.2	Eigenschaften	113
2.3.2.3	Selbstheilende Kondensatoren (MP und MK)	116
2.3.2.4	Kondensatoren für die Leistungselektronik	116
2.3.3	Elektrolyt-Kondensatoren	118
2.3.4	Keramik-Kondensatoren	121
2.3.4.1	Werkstoffe und Einteilung	121
2.3.4.2	Eigenschaften	121
2.3.4.3	Bauformen	121
2.3.5	Einstellbare Kondensatoren	124
2.4	Induktivitäten	125
2.4.1	Kerneigenschaften	127
2.4.1.1	Luftpulen	127
2.4.1.2	Induktivitäten mit Kern	127
2.4.1.3	Kernformen	127
2.4.1.4	Ersatzschaltbilder	127
2.4.1.5	Hysteresekurve	128
2.4.1.6	Ferrimagnetisches Material	129
2.4.1.7	Ferromagnetika	130
2.4.2	Wicklungseigenschaften	131
2.4.2.1	Zylinderwicklung (Solenoid)	131
2.4.2.2	Wicklungskapazität	132
2.4.2.3	Scheibenwicklung	132
2.4.2.4	Ringkernspule (Toroid)	133
2.4.2.5	Induktivität einer Zylinderspule	133
2.5	Dioden	134
2.5.1	Schaltdioden	135
2.5.2	Schottky-Dioden	138
2.5.3	Gleichrichterioden	139
2.5.3.1	Netzgleichrichter	141
2.5.3.2	Schnelle Gleichrichterioden	143

2.5.4	Schottky-Leistungsdioden	144
2.5.5	Z-Dioden	145
2.5.6	Diac-Triggerdioden	146
2.5.7	Fotodioden	147
2.5.8	Kapazitätsdioden	149
2.5.9	pin-Dioden	150
2.5.10	Step-Recovery-Dioden	153
2.5.11	Tunneldioden	154
2.5.12	Backwarddioden	155
3	Aktive Bauelemente	156
3.1.	Transistoren	156
3.1.1	Arten von Transistoren und deren Aufbau	156
3.1.2	Beschaltung und Funktion des Transistors	158
3.1.3	Wichtige Kennwerte von Transistoren	159
3.1.3.1	Eingangswiderstand	159
3.1.3.2	Stromverstärkung	160
3.1.3.3	Ausgangsleitwert	162
3.1.3.4	Spannungsrückwirkung	162
3.1.3.5	h -Parameter als Transistorkennwerte	163
3.1.3.6	Rauschen	163
3.1.4	Weitere Kennwerte	165
3.1.4.1	Restströme	165
3.1.4.2	Sperrschichtkapazitäten	165
3.1.4.3	Transitfrequenz	166
3.1.4.4	Schaltzeiten	166
3.1.5	Transistor-Grenzwerte	166
3.1.5.1	Sperrspannungen	166
3.1.5.2	Ströme	166
3.1.5.3	Temperaturen	167
3.1.5.4	Verlustleistung	167
3.1.5.5	Erlaubter Arbeitsbereich	167
3.1.6	Typenschlüssel für Halbleiter	168
3.1.7	Transistordatenblatt	168
3.2	Analoge Grundsaltungen mit bipolaren Transistoren	173
3.2.1	Emitterschaltung	173
3.2.1.1	Emitterschaltung mit Stromgegenkopplung	175
3.2.1.2	Einstellung des Arbeitspunktes	177
3.2.1.3	Praktische Dimensionierung der Emitterschaltung	178
3.2.1.4	Emitterschaltung mit Spannungsgegenkopplung	180
3.2.1.5	Emitterschaltung bei höheren Frequenzen	180
3.2.2	Kollektorschaltung	181
3.2.2.1	Bootstrapschaltung	182
3.2.3	Basisschaltung	183
3.2.4	Stromquelle	185
3.2.5	Differenzverstärker	185
3.2.5.1	Gleichtaktverstärkung	187
3.2.5.2	Gleichtaktunterdrückung	187
3.2.5.3	Korrektur der Offsetspannung	188
3.2.5.4	Gegenkopplung im Differenzverstärker	189

3.2.6	Darlingtonschaltung	189
3.2.7	Verstärker für höhere Frequenzen	191
3.2.7.1	Grenzen der Verstärkung (Verstärkungs-Bandbreite-Produkt)	191
3.2.8	Kaskodeschaltung	192
3.3	Feldeffekttransistoren	194
3.3.1	Sperrschicht-Feldeffekttransistoren (JFET)	194
3.3.1.1	Kennlinien und Arbeitsbereiche des Feldeffekttransistors	195
3.3.1.2	Ohmscher Bereich	195
3.3.1.3	Triodenbereich	196
3.3.1.4	Abschnürbereich	196
3.3.1.5	Durchbruchbereich	196
3.3.2	MOS-Feldeffekttransistoren	196
3.3.2.1	Eingangswiderstand	197
3.3.2.2	Steilheit	198
3.3.2.3	Ausgangsleitwert	198
3.3.2.4	Spannungsrückwirkung	199
3.3.3	Weitere Kennwerte der Feldeffekttransistoren	199
3.3.3.1	Y-Parameter als Kennwerte des Feldeffekttransistors	199
3.3.3.2	Rauschen	199
3.3.3.3	Restströme	200
3.3.3.4	Temperaturverhalten	200
3.3.3.5	Grenzfrequenz	200
3.3.3.6	Schaltzeiten	201
3.3.4	Grenzwerte der Feldeffekttransistoren	201
3.3.4.1	Ströme	201
3.3.4.2	Sperrspannungen	201
3.3.4.3	Temperaturen	201
3.3.4.4	Verlustleistung und erlaubter Arbeitsbereich	201
3.4	Schaltungstechnik mit Feldeffekttransistoren	202
3.4.1	Übergang vom bipolaren Transistor zum Feldeffekttransistor	202
3.4.2	Grundsaltungen der Feldeffekttransistoren	202
3.4.3	Stabilisierung des Arbeitspunktes und der Verstärkung durch Gegenkopplung	203
3.4.4	Wirkung der Gegenkopplung	204
3.4.5	Differenzverstärker mit Feldeffekttransistoren	205
3.4.6	Steuerbare Spannungsteiler mit Feldeffekttransistoren	205
3.4.7	Feldeffekttransistoren als Schalter für analoge Signale	206
3.4.8	Dual-Gate-MOSFET (Doppelgate-MOSFET)	206
3.4.9	MOSFET-Leistungstransistoren für Schalter	207
3.4.10	MOSFET-Leistungstransistoren für analoge Verstärker	210
3.5	Lineare und nichtlineare Verstärker	212
3.5.1	Wichtige Eigenschaften linearer Verstärker	212
3.5.2	Herleitung der Oberschwingungen und der Mischprodukte	212
3.5.3	Meßverfahren zur Beurteilung von Verstärkern	213
3.5.4	Nichtlineare Verstärker	213
3.5.5	Aufbau linearer Verstärker in der Praxis	213
3.5.6	Schaltungstechnische Besonderheiten gegengekoppelter Verstärker	215
3.5.7	Vorsichtsmaßnahmen beim Umgang mit Halbleitern	216

4	Hochfrequenz (HF)-Verstärker	218
4.1	Anpassung und Reflexion	218
4.2	Transport der Hochfrequenz auf Leitungen	219
4.3	Wellenwiderstand einer Hochfrequenzleitung	220
4.4	Eingangs- und Ausgangswiderstände von HF-Transistoren	221
4.4.1	S-Parameter	222
4.4.2	Definition der S-Parameter	222
4.4.3	Messung der S-Parameter	223
4.5	Rauschparameter	224
4.5.1	Rauschfaktor	225
4.5.2	Rauschen bei mehrstufigen Verstärkern	225
4.6	Darstellung komplexer Größen	226
4.7	Anwendung des Smith-Diagramms	228
5	Bauelemente der Leistungselektronik	232
5.1	Thyristor	232
5.1.1	Statische Kennlinien	232
5.1.2	Dynamische Kennlinien	235
5.1.3	Schutzbeschaltung	235
5.1.4	Kühlung	236
5.1.5	Spannungssteuerung mit Thyristoren	237
5.2	Triac	238
5.3	Abschaltthyristor (GTO)	238
5.4	Insulated-Gate-Bipolar-Transistor (IGBT)	239
6	Optoelektronik	240
6.1	Einleitung	240
6.2	Radiometrische und fotometrische Größen	241
6.2.1	Radiometrische Größen	241
6.2.2	Fotometrische Größen	242
6.3	Halbleiter-Sender	244
6.3.1	Strahlungsemission aus Halbleitern	244
6.3.2	Lumineszenzdioden	245
6.3.3	Halbleiterlaser	253
6.4	Displays	259
6.4.1	Anthropotechnische Gesichtspunkte	259
6.4.2	Displaytypen	260

6.4.3	Analoganzeigen	262
6.4.4	Numerische Anzeigen	263
6.4.5	Alphanumerische Anzeigen	265
6.5	Halbleiter-Detektoren	266
6.5.1	Strahlungsabsorption in Halbleitern	266
6.5.2	Gütekriterien von Detektoren	267
6.5.3	Fotowiderstand	268
6.5.4	Fotodiode	271
6.5.5	Solarzelle	279
6.5.6	Fototransistor	284
6.5.7	Fotothyristor	286
6.5.8	Bildsensoren	286
6.6	Optokoppler	290
6.7	Lichtwellenleiter	293
7	Sensoren	298
7.1	Grundlagen	298
7.1.1	Definition und Einteilung	298
7.1.2	Wirtschaftliche und technische Bedeutung	298
7.2	Sensoren für die wichtigsten Meßgrößen	304
7.2.1	Weg- und Positions-Sensoren	304
7.2.2	Kraft- und Druck-Sensoren	308
7.2.3	Temperatur-Sensoren	308
7.3	Werkstoffe und Technologien	312
7.3.1	Siliciumtechnik	312
7.3.1.1	Vorteile von Silicium	312
7.3.1.2	Physikalische Effekte	312
7.3.2	Dünnschichttechnik	314
7.3.2.1	Verfahren	314
7.3.2.2	Anwendungen	314
7.3.3	Dickschichttechnik	315
7.3.4	Faseroptische Sensoren	316
7.3.4.1	Modulation der Lichtintensität	316
7.3.4.2	Modulation der Wellenlänge	316
7.3.4.3	Modulation der Polarisation	316
7.3.5	Chemische Sensoren	317
7.3.5.1	Elektrochemische Sensoren	317
7.3.5.2	Chemische Feldeffekttransistoren	317
7.3.5.3	Optochemische Sensoren (Optoden)	318
7.4	Bevorzugte Einsatzgebiete	319
8	Analoge integrierte Schaltungen	320
8.1	Herstellung und Technologie	320

8.2	Operationsverstärker	324
8.2.1	Idealer und realer Operationsverstärker	325
8.2.2	Schaltungstechnischer Aufbau	325
8.2.2.1	Eingangsstufe als Differenzverstärker	328
8.2.2.2	Zweite Stufe als Spannungsverstärker	329
8.2.2.3	Endstufe als Stromverstärker	330
8.2.3	Beispiel eines Standardverstärkers	331
8.2.4	Operationsverstärker für höhere Anforderungen	333
8.2.5	Stabilitätsbetrachtung	334
8.3	Operationsverstärker mit statischer Beschaltung	337
8.3.1	Invertierender Spannungsverstärker	340
8.3.2	Nicht invertierender Spannungsverstärker	341
8.3.3	Subtrahierverstärker	342
8.3.4	Schmitt-Trigger	344
8.3.5	Nichtlinearer Verstärker	345
8.3.6	Addierender Verstärker, invertierend	347
8.3.7	Addierender Verstärker, nicht invertierend	347
8.3.8	Konstantstromquellen	348
8.3.9	Idealer Einweggleichrichter	349
8.3.10	Zweiweggleichrichter ohne gemeinsames Potential	349
8.3.11	Zweiweggleichrichter mit gemeinsamem Potential	350
8.3.12	Spitzenwertgleichrichter	351
8.3.13	Logarithmierschaltung	351
8.3.14	Delogarithmierschaltung (Exponentialverstärker)	353
8.4	Operationsverstärker mit dynamischer Beschaltung	354
8.4.1	Integrator	356
8.4.2	Differenzierer	358
8.4.3	Filterschaltungen	360
8.4.3.1	Tiefpaß 1. Ordnung	360
8.4.3.2	Tiefpaß 2. Ordnung	361
8.4.3.3	Hochpaß 1. Ordnung	364
8.4.3.4	Hochpaß 2. Ordnung	365
8.4.3.5	Bandpaß (selektives Filter)	365
8.4.3.6	Bandsperre	368
8.4.3.7	Filter höherer Ordnung	369
8.5	Weitere wichtige integrierte Analogschaltungen	369
8.5.1	Komparatoren	369
8.5.2	Spannungsregler	370
8.5.3	Bandgap-Referenzelement	371
9	Digital-Analog- und Analog-Digital-Wandler	375
9.1	Digital-Analog-Wandler (DA-Wandler)	375
9.1.1	R-2R-Leiternetzwerk	375
9.1.2	Multiplizierender DA-Wandler	376
9.1.3	Vier-Quadranten multiplizierender DA-Wandler	378
9.1.4	DA-Wandler mit fester Referenzspannung	379
9.1.5	Datenwandler mit mikroprozessorkompatibler Schnittstelle	379
9.1.6	Unerwünschte Spitzen beim Weiterzählen des digitalen Eingangswertes	380
9.1.7	Fehler bei der Datenumsetzung	381

9.2	Analog-Digital-Wandler	383
9.2.1	Integrierende Analog-Digital-Wandler	383
9.2.2	Analog-Digital-Wandler nach dem Prinzip der sukzessiven Approximation	386
9.2.3	Abtast- und Halteschaltung (Sample and Hold)	388
9.2.4	Parallel-Analog-Digital-Wandler	389
9.2.5	Analog-Digital-Wandler nach dem Delta-Sigma-Verfahren	392
10	Analoge Regelungstechnik	393
10.1	Steuerung und Regelung	393
10.2	Beispiel einer elektronischen Regelung	393
10.3	Beispiel einer elektronisch-mechanischen Regelung	394
10.4	Grundsätzliche Betrachtung einer Regelung	395
10.5	Elemente des Regelkreises und ihre Eigenschaften	395
10.6	Vorgehen beim Entwurf einer stabilen Regelung	398
10.6.1	Aufbau	398
10.6.2	Stabilitätsbedingung	398
10.6.3	Beurteilung eines Regelkreises mit dem Bode-Diagramm	399
10.6.4	Einschwingverhalten	401
10.6.5	Verbleibende Abweichung	402
10.7	Zusammenfassung	403
11	Grundlagen der digitalen Schaltungstechnik	404
11.1	Zahlensysteme	404
11.1.1	Duales Zahlensystem	405
11.1.2	Hexadezimalen Zahlensystem	406
11.1.3	BCD-Zahlensystem	409
11.1.4	Erweiterungen des binären Zahlensystems	410
11.1.4.1	Negative Zahlen	410
11.1.4.2	Festkomma- und Gleitkommazahlen	411
11.2	Kodes	415
11.2.1	Gray-Kode	415
11.2.2	Fernschreibe-Kode	417
11.2.3	ASCII-Kode	418
11.2.4	Redundante Kodes	421
11.2.5	Fehlererkennende Kodes	421
11.2.6	Fehlerkorrigierende Kodes	422
11.3	Grundlagen der Booleschen Algebra	426
11.3.1	Binäre Verknüpfungen	426
11.3.2	Gesetze von Boole und De Morgan	429
11.3.2.1	Gesetze der Schaltalgebra	429

11.3.2.2	Gesetze von De Morgan	429
11.3.3	Entwicklung einer Schaltung mit Hilfe der Booleschen Algebra	432
11.4	Minimierung nach Karnaugh-Veitch	434
11.4.1	Grundlagen	434
11.4.2	Karnaugh-Veitch-Diagramm für drei Eingangsvariable	436
11.4.3	Karnaugh-Veitch-Diagramm für vier Eingangsvariable	437
11.4.4	Karnaugh-Veitch-Diagramm für fünf Eingangsvariable	439
11.4.5	Karnaugh-Veitch-Diagramm für sechs und mehr Eingangsvariable	440
11.4.6	Beispiele zur Karnaugh-Veitch-Minimierung	442
12	Digitale Bauelemente	446
12.1	Logikfamilien	447
12.1.1	TTL	450
12.1.2	FAST	454
12.1.3	CMOS	455
12.1.4	High-Speed-CMOS	458
12.1.5	ECL	461
12.1.6	Schaltzeichen und Gehäuseformen	463
12.2	Speicherbauteile und Speicheraufbau	470
12.2.1	Flüchtige Speicher	471
12.2.2	Nicht flüchtige Speicher	473
12.2.3	Sonderformen von Speicherbauteilen	475
12.2.4	Aufbau großer Speichersysteme	476
12.3	Mikrorechner	478
12.3.1	Mikroprozessoren	479
12.3.2	Single-Chip-Mikrocomputer	480
12.3.3	RISC-Computer	482
12.3.4	Transputer	483
13	Entwicklung digitaler Schaltungen	486
13.1	Entwicklungsphasen	486
13.2	Pulsfahrplan	490
13.3	Leitungen für digitale Signale	493
13.3.1	Bandbegrenzung digitaler Signale	494
13.3.2	Reflexionen	495
13.3.2.1	Abgeschlossene Leitung	495
13.3.2.2	Offene Leitung	503
13.4	Störfreier Entwurf digitaler Schaltungen (Glitch-Free-Design)	506
13.5	Phase Locked Loop	509
13.5.1	Grundlagen	509
13.5.2	Digitaler PLL	511
13.5.3	Tiefpaß 1. Ordnung	517

14	ASIC	521
14.1	Übersicht	522
14.1.1	Digitale ASIC-Familien	522
14.1.2	Analoge ASIC	524
14.2	Programmierbare logische Bauteile (PLD)	527
14.2.1	Aufbau des PAL (Programmable Array Logic)	527
14.2.1.1	Eingangsschaltung des PAL	528
14.2.1.2	Verknüpfungen im AND-Array	529
14.2.1.3	Verknüpfungen im OR-Array	530
14.2.1.4	Ausgangsschaltungen	530
14.2.2	Realisierung einer Schaltung	531
14.2.3	Testen von PLD-Bauteilen	539
14.3	Digitale Gate-Arrays	540
14.3.1	Kanal-Gate-Array	540
14.3.2	Kanallose Gate-Arrays (Sea of Gates)	541
14.3.3	Programmierbare Gate-Arrays	543
14.3.3.1	Logic Cell Array (LCA)	543
14.3.3.2	Field Programmable Gate-Array (FPGA)	544
14.4	Standard-Zellen-ASIC	547
14.4.1	Aufbau der Standard-Zellen-ASIC	548
14.4.2	Elektronenstrahl-Direkt-Schreibverfahren	549
14.4.3	Standardisierte Kundenschaltskreise (Application Specific Standard Products, ASSP)	550
15	Speicherprogrammierbare Steuerungen	552
15.1	Einführung	552
15.2	Aufbau und Wirkungsweise	553
15.3	Programmierung speicherprogrammierbarer Steuerungen	555
15.3.1	Befehlsvorrat einer SPS	555
15.3.2	Arten der Programmdarstellung	555
15.4	Programmierung einfacher Steuerungsfunktionen	557
15.4.1	Steuerungen mit Verknüpfungsfunktionen	557
15.4.1.1	ODER-Funktion, UND-Funktion und Negation	557
15.4.1.2	Disjunktive und konjunktive Schaltfunktionen	558
15.4.2	Speicherfunktion	560
15.4.3	Auswertung von Signalfanken	560
15.4.4	Zeitgeberfunktion	561
15.4.5	Zähler	562
15.4.6	Realisierung von Ablaufsteuerungen	563
15.5	Programmierung mit Software-Bausteinen	565
15.6	Programmiereinrichtungen	566

16	Schnittstellen, Bussysteme und Netze	568
16.1	Einführung	568
16.2	Grundbegriffe der Datenübertragung	568
16.2.1	Arten der Verbindung, des Betriebs und der Übertragung	569
16.2.2	Datenformate und Steuerzeichen bei serieller Übertragung	570
16.2.3	Übertragungssteuerung (Handshake)	571
16.3	Schnittstellen	571
16.3.1	Centronics-Schnittstelle	571
16.3.2	IEC-Bus	573
16.3.3	V.24-Schnittstelle	575
16.3.3.1	Mechanische Eigenschaften	575
16.3.3.2	Funktionale Eigenschaften	575
16.3.3.3	Elektrische Eigenschaften	576
16.3.3.4	Verbindungen und Fehlersuche	576
16.3.3.5	Anschlußmöglichkeiten	577
16.3.3.6	Funktionsüberprüfung	579
16.3.3.7	V.24-Schnittstelle in der Datenfernübertragung	579
16.4	Bussysteme	581
16.4.1	Parallele Bussysteme	581
16.4.2	Serielle Bussysteme	582
16.5	Netze	584
16.5.1	Einführung	584
16.5.2	Global Area Networks (GAN)	584
16.5.3	Wide Area Networks (WAN)	585
16.5.4	Lokale Netze (LAN)	586
16.5.5	OSI-Modell mit sieben Schichten	587
16.5.5.1	Beschreibung	587
16.5.5.2	Schichten des OSI-Modells	589
16.5.6	SNA-Modell (System Network Architecture)	592
16.5.7	DNA-Modell (Digital Network Architecture)	593
16.5.8	Zugriffsverfahren bei Netzen	594
16.5.8.1	Kollisionsbehaftete Verfahren	594
16.5.8.2	Kollisionsfreie Verfahren	596
16.5.9	MAP- und TOP-Standards	600
16.5.9.1	MAP-Standard (Bitbus zur Fertigungssteuerung)	600
16.5.9.2	TOP-Standard	602
16.5.10	ISDN	603
16.5.10.1	ISDN-Konzept	603
16.5.10.2	ISDN-Konzept im OSI-Modell	604
16.5.10.3	ISDN-Dienste mit Bitraten bis zu 64 kBit/s	605
16.5.10.4	Kommunikation mit privaten Netzen (LAN)	605
16.5.11	Kopplung von Netzen	606
16.5.12	Planung von lokalen Netzen	608
16.5.12.1	Allgemeine Anforderungen	608
16.5.12.2	Einführung eines hierarchischen Kommunikationskonzeptes	608
16.5.12.3	Einsatz von Lichtwellenleitern	609
16.5.12.4	Vorgehensweise bei der Planung von Netzen	610

17	Stromversorgung	611
17.1	Arten der Spannungsquellen (Energiequellen)	612
17.2	Verschiedene Ausführungen der Stromversorgung	613
17.2.1	Potentialtrennung	613
17.2.2	Transformator	613
17.2.3	Transformator-Netzteil	617
17.2.4	Gleichrichter-Schaltungen	617
17.2.5	Lineare Regler	620
17.3	Getaktete Stromversorgungen	625
17.3.1	Pulsbreitenmodulation	625
17.3.2	Durchflußwandler	626
17.3.2.1	Tiefsetzsteller	626
17.3.2.2	Eintakt-Flußwandler mit Transformator	628
17.3.2.3	Flußwandler-Varianten	630
17.3.2.4	Transduktor (Sättigungsdrossel)	632
17.3.3	Sperrwandler	632
17.3.3.1	Hoch- und Tiefsetzsteller	633
17.3.3.2	Sperrwandler mit Transformator	633
17.3.3.3	Hochsetzsteller	633
17.3.4	Resonanzwandler	634
17.3.5	Eingangsfiler	635
17.4	Regelungstechnik	636
17.4.1	Fühlerleitungen	636
17.4.2	Regelung eines Flußwandlers	637
17.5	Wirkungsgrad	638
17.5.1	Entwärmung (Wärmeübertragung)	638
17.6	Gesetzliche Vorschriften und Normen	639
17.6.1	Produkthaftung	639
17.6.2	Sicherheit	640
17.6.2.1	Elektrische Sicherheit	640
17.6.2.2	Brandschutz	642
17.6.3	Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)	642
17.6.4	Netzrückwirkungen; Netzüberschwingungen	644
18	Lösungen der Übungsaufgaben	645
19	Weiterführendes Schrifttum	658
20	Sachwortverzeichnis	661