

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Grundlagen der Elektrotechnik</b>	<b>1</b>
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
<b>2</b>	<b>Passive Bauelemente</b>	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	Heißleiter (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	Luftspulen	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	Gleichrichterdioden	139
2.5.3.1	Netzgleichrichter	141
2.5.3.2	Schnelle Gleichrichterdioden	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
<b>3</b>	<b>Aktive Bauelemente . . . . .</b>	<b>156</b>
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	<i>h</i> -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	Sperrsichtkapazitäten . . . . .	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 Grundschaltungen 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	Sperrsicht-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	Grundschaltungen 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

---

<b>4</b>	<b>Hochfrequenz (HF)-Verstärker</b>	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
<b>5</b>	<b>Bauelemente der Leistungselektronik</b>	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
<b>6</b>	<b>Optoelektronik</b>	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	Strahlungsemision 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
<b>7</b>	<b>Sensoren . . . . .</b>	<b>298</b>
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
<b>8</b>	<b>Analoge integrierte Schaltungen . . . . .</b>	<b>320</b>
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	<b>Digital-Analog- und Analog-Digital-Wandler</b>	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
<b>10</b>	<b>Analoge Regelungstechnik</b>	<b>393</b>
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
<b>11</b>	<b>Grundlagen der digitalen Schaltungstechnik</b>	<b>404</b>
11.1	Zahlensysteme	404
11.1.1	Duales Zahlensystem	405
11.1.2	Hexadezimales 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	<b>Digitale Bauelemente</b> . . . . .	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	<b>Entwicklung digitaler Schaltungen</b> . . . . .	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

---

<b>14</b>	<b>ASIC</b>	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 Kundenschaltkreise (Application Specific Standard Products, ASSP)	550
<b>15</b>	<b>Speicherprogrammierbare Steuerungen</b>	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 Signalflanken	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	Programmireinrichtungen	566

<b>16 Schnittstellen, Bussysteme und Netze</b>	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

---

<b>17</b>	<b>Stromversorgung</b>	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	Transduktoren (Sättigungsdiode)	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	EingangsfILTER	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; Netzoberschwingungen	644
<b>18</b>	<b>Lösungen der Übungsaufgaben</b>	645
<b>19</b>	<b>Weiterführendes Schrifttum</b>	658
<b>20</b>	<b>Sachwortverzeichnis</b>	661