

# 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
2	<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	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	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	$h$ -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

<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	Strahlungsemission aus Halbleitern	244
6.3.2	Lumineszenzdiode	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 Polarisierung . . . . .	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	Bandsperr . . . . .	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>	<b>375</b>
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	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
<b>12</b>	<b>Digitale Bauelemente . . . . .</b>	<b>446</b>
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
<b>13</b>	<b>Entwicklung digitaler Schaltungen . . . . .</b>	<b>486</b>
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>	<b>521</b>
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 Kundens Schaltkreise (Application Specific Standard Products, ASSP)	550
<b>15</b>	<b>Speicherprogrammierbare Steuerungen</b>	<b>552</b>
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

---

<b>16</b>	<b>Schnittstellen, Bussysteme und Netze</b>	<b>568</b>
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>	<b>611</b>
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 (Sättigungs-drossel)	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	Netzzrückwirkungen; Netzüberschwingungen	644
<b>18</b>	<b>Lösungen der Übungsaufgaben</b>	<b>645</b>
<b>19</b>	<b>Weiterführendes Schrifttum</b>	<b>658</b>
<b>20</b>	<b>Sachwortverzeichnis</b>	<b>661</b>