

# Inhaltsverzeichnis

<b>Geleitwort</b>	<b>XI</b>
<b>Vorwort</b>	<b>XIII</b>
<b>1. Einleitung und Überblick</b>	<b>1</b>
<b>2. Physikalische Grundlagen der Elektronik</b>	<b>5</b>
2.1. Elektrizität und elektrischer Strom	5
2.1.1. Statische Elektrizität	5
2.1.2. Elektrische Ladung	6
2.1.3. Das elektrische Feld – elektrisches Potential	8
2.1.4. Elektrizität und Atombau	11
2.1.5. Leiter und Isolatoren	13
2.1.6. Bewegung freier Ladungsträger	14
2.2. Magnetismus – ein Überblick	17
2.2.1. Permanent- und Elektromagnete	17
2.2.2. Magnetische Kräfte – das magnetische Feld	17
2.2.3. Induktionsgesetz	20
2.3. Der Gleichstromkreis	21
2.3.1. Darstellung von Stromkreisen – Schaltzeichen	21
2.3.2. Ohmsches Gesetz und ohmscher Widerstand	22
2.3.3. Kirchhoffsche Regeln	27
2.3.4. Messung von Spannung, Strom und Widerstand	34
2.3.5. Kondensatoren – Energiespeicher im Gleichstromkreis	37
2.3.6. Spulen – magnetische Energiespeicher im Gleichstromkreis	45
2.4. Wechselstrom	48
2.4.1. Erzeugung und Darstellung von Wechselstrom	48
2.4.2. Widerstände im Wechselstromkreis	54
2.4.3. Zusammenschaltung von Widerständen im Wechselstromkreis	57
2.4.4. Schwingkreise	60
2.4.5. Transformatoren	64
2.4.6. Ideale versus reale Bauelemente	66
2.5. Fragen und Aufgaben	68

<b>3.</b>	<b>Grundlagen elektrischer Netzwerke</b>	<b>71</b>
3.1.	Vorbemerkungen und Überblick	71
3.2.	Lineare Zweipol-Netze	73
3.2.1.	Berechnung linearer Zweipol-Netze	73
3.2.2.	Lineare Zweipol-Netze – Beispiele und Anwendungen	76
3.3.	Vierpole und Zweitore	82
3.4.	Leitungen	86
3.5.	Fragen und Aufgaben	90
<b>4.</b>	<b>Halbleiter und Halbleiterbauelemente</b>	<b>93</b>
4.1.	Abgrenzung der Halbleiter	93
4.2.	Halbleitermaterialien	94
4.3.	Ausgewählte festkörperphysikalische Grundlagen	98
4.3.1.	Struktur fester Körper	98
4.3.2.	Zur Leitfähigkeit im Festkörper	102
4.3.3.	Leitfähigkeit im Halbleiter	106
4.3.4.	Einige Materialdaten und Ergänzungen	111
4.4.	Grundstrukturen von Halbleiterbauelementen	113
4.4.1.	Übersicht	113
4.4.2.	pn-Übergang	114
4.4.3.	MOS-Kapazität und Feldeffekt	118
4.5.	Halbleiterbauelemente	120
4.5.1.	Bauelemente mit homogenem Halbleiter	121
4.5.2.	Dioden – Bauelemente mit einem pn-Übergang	123
4.5.3.	Bipolartransistoren – Bauelemente mit zwei pn-Übergängen	126
4.5.4.	MOS-Feldeffekttransistoren	131
4.5.5.	Sperrschicht-Feldeffekt-Transistoren (JFET)	134
4.5.6.	Halbleiterbauelemente – Stand und Entwicklungstrends	136
4.6.	Fragen und Aufgaben	138
<b>5.</b>	<b>Signal und Information</b>	<b>141</b>
5.1.	Abgrenzung und Begriffsbestimmungen	141
5.2.	Nutz- und Störsignale	144
5.3.	Analoge und digitale Signale	147
5.4.	Darstellungen von Signalen	149
5.4.1.	Darstellung analoger Signale	149
5.4.2.	Darstellung digitaler Signale	152
5.5.	Fragen und Aufgaben	155
<b>6.</b>	<b>Analogschaltungen</b>	<b>157</b>
6.1.	Filter	157
6.1.1.	Frequenzfilter – Filtercharakteristiken	158
6.1.2.	RC-Tiefpass	160
6.1.3.	RC-Hochpass	162
6.1.4.	Begrenzer – Amplitudenfilter mit Dioden	164

6.2.	Gleichrichter . . . . .	165
6.3.	Verstärker . . . . .	168
6.3.1.	Verstärker als Vierpol . . . . .	169
6.3.2.	Rückkopplung . . . . .	169
6.3.3.	Transistor-Kleinsignalverstärker . . . . .	171
6.3.4.	Direkt gekoppelte Verstärker . . . . .	176
6.4.	Operationsverstärker . . . . .	179
6.4.1.	Eigenschaften, Kenngrößen und Übertragungsfunktion . . . . .	179
6.4.2.	Berechnung von Operationsverstärker-Schaltungen . . . . .	182
6.4.3.	Lineare Grundsaltungen mit Operationsverstärkern . . . . .	184
6.4.4.	Nichtlineare Schaltungen mit Operationsverstärkern . . . . .	189
6.5.	Schwingungserzeugung – Oszillatoren . . . . .	192
6.6.	Digital steuerbare Analogschaltungen . . . . .	196
6.6.1.	Analogschalter und Analog-Multiplexer . . . . .	196
6.6.2.	Programmierbare Verstärker . . . . .	198
6.7.	Fragen und Aufgaben . . . . .	200
<b>7.</b>	<b>Digitale Schaltungstechnik . . . . .</b>	<b>203</b>
7.1.	Grundlagen . . . . .	204
7.1.1.	Digitale Signale und Digitalisierung . . . . .	204
7.1.2.	Mathematische Beschreibung . . . . .	209
7.2.	Logikklassen . . . . .	214
7.2.1.	Schaltnetze, Kombinatorische Digitalschaltungen . . . . .	215
7.2.2.	Schaltwerke, Sequentielle Digitalschaltungen . . . . .	222
7.3.	Realisierung digitaler Schaltungen . . . . .	230
7.3.1.	Schalter, Relais und Röhren . . . . .	232
7.3.2.	Der Transistor als Schalter . . . . .	233
7.3.3.	FET als Schalter . . . . .	242
7.3.4.	Pass-Transistor Logik und differentielle Logik . . . . .	255
7.4.	Busse und Digitale Ausgangsschaltungen . . . . .	257
7.4.1.	Busse . . . . .	257
7.4.2.	Open-Collector, Open-Drain Schaltungen und Wired Logic . . . . .	259
7.4.3.	Tri-State . . . . .	262
7.4.4.	Transmission Gate . . . . .	264
7.5.	Zielarchitekturen . . . . .	265
7.5.1.	ASIC . . . . .	265
7.5.2.	PLD . . . . .	266
7.6.	Fragen und Aufgaben . . . . .	269
<b>8.</b>	<b>Kombinatorische und sequentielle Digitalschaltungen . . . . .</b>	<b>273</b>
8.1.	Übersicht . . . . .	273
8.2.	Kombinatorische Grundsaltungen . . . . .	273
8.2.1.	Multiplexer und Demultiplexer . . . . .	274
8.2.2.	Kodierer, Dekodierer und Codeumsetzer . . . . .	275
8.2.3.	Halb- und Volladdierer, Addiererschaltungen . . . . .	278

8.2.4.	Komparator . . . . .	281
8.2.5.	Arithmetisch-Logische Einheit – ALU . . . . .	283
8.3.	Sequentielle Schaltungen . . . . .	284
8.3.1.	Flip-Flop . . . . .	284
8.3.2.	Taktunabhängige Flip-Flops . . . . .	287
8.3.3.	Taktpegelgesteuerte Flip-Flops und Latches . . . . .	292
8.3.4.	Einflankengesteuerte Flip-Flops . . . . .	296
8.3.5.	Master-Slave Flip-Flops . . . . .	299
8.3.6.	Register . . . . .	305
8.3.7.	Zähler- und Teilerschaltungen . . . . .	311
8.3.8.	Digitale Kippschaltung . . . . .	322
8.4.	Halbleiter-Speicherschaltungen . . . . .	324
8.4.1.	Übersicht der Speichertechnologien . . . . .	324
8.4.2.	Speicherorganisation . . . . .	326
8.4.3.	RAM-Speicherzellen . . . . .	328
8.4.4.	Festwertspeicher . . . . .	333
8.4.5.	EEPROM-/Flash-Speicher . . . . .	334
8.5.	Fragen und Aufgaben . . . . .	338
<b>9.</b>	<b>Sensorik . . . . .</b>	<b>341</b>
9.1.	Lebewesen und technische Systeme . . . . .	341
9.1.1.	Unsere Sinne und Sinnesorgane – Sensoren, eine Gegenüberstellung . . . . .	342
9.1.2.	Effektoren und Aktoren – eine Gegenüberstellung . . . . .	343
9.1.3.	Sensoren und Aktoren im Prozess . . . . .	344
9.2.	Effekte und Prinzipien zur Realisierung von Sensoren . . . . .	345
9.2.1.	Abbildung nichtelektrischer Größen auf elektrische Größen . . . . .	346
9.2.2.	Sensorelement – Sensor – Sensorsystem . . . . .	347
9.2.3.	Die weitere Gliederung . . . . .	349
9.3.	Sensoren mit beweglichen Komponenten . . . . .	350
9.3.1.	Potentiometrische (resistive) Sensoren . . . . .	350
9.3.2.	Kapazitive Sensoren . . . . .	352
9.3.3.	Induktive Sensoren . . . . .	354
9.4.	Temperatursensoren . . . . .	355
9.4.1.	Widerstandsthermometer . . . . .	355
9.4.2.	Thermoelektrischer Effekt und Thermoelemente . . . . .	358
9.5.	Optische Sensoren . . . . .	359
9.6.	Chemische Sensoren und Biosensoren . . . . .	363
9.6.1.	Metalloxid-Gassensoren . . . . .	364
9.6.2.	Leitfähigkeitssensoren . . . . .	366
9.6.3.	Biosensoren . . . . .	368
9.7.	Sensoren aus der Sicht des Anwenders . . . . .	369
9.8.	Fragen und Aufgaben . . . . .	370

<b>10. Analog-Digital- und Digital-Analog-Wandler</b>	373
10.1. Einleitung	373
10.2. Wandlerkennlinien	376
10.2.1. Digital-Analog-Wandler-Kennlinien	377
10.2.2. Analog-Digital-Wandler-Kennlinien	379
10.3. DAC-Wandlerprinzipien	381
10.3.1. DAC nach dem Parallelverfahren	382
10.3.2. DAC nach dem Wägeverfahren	383
10.3.3. DAC nach dem Zählverfahren	385
10.4. ADC-Wandlerprinzipien	386
10.4.1. ADC nach dem Parallelverfahren	387
10.4.2. ADC nach dem Wägeverfahren	388
10.4.3. ADC nach dem Zählverfahren	389
10.4.4. ADC nach dem interpolativen Sigma-Delta-Verfahren ( $\Sigma\Delta$ )	392
10.5. Hilfsschaltungen	394
10.5.1. Analoge Hilfsschaltungen	394
10.5.2. Digitale Hilfsschaltungen und Schnittstellen	397
10.6. Fragen und Aufgaben	400
<b>11. Mikrocontroller</b>	403
11.1. Begriff und Wurzeln	403
11.2. Mikroprozessor, SoC und Mikrocontroller	407
11.3. Informationsverarbeitung im Mikrocontroller	410
11.4. Mikrocontroller – einige Hardware-Aspekte	413
11.4.1. Prozessorkern (CPU)	413
11.4.2. Das Bussystem	415
11.4.3. Harvard- vs. von Neumann-Architektur	416
11.4.4. Input-Output-Module	417
11.4.5. Hilfsschaltungen	419
11.5. Programmiermodell und -Software	422
11.6. Entwicklungswerkzeuge für Mikrocontroller	423
11.7. MSP430 – Einblicke in eine Mikrocontrollerfamilie	425
11.7.1. MSP430 – Hardware, Komponenten und Ausbaustufen	427
11.7.2. MSP430 – Software	439
11.7.3. MSP430 – Entwicklungsumgebung	442
11.7.4. MSP430 – ein kleines Projekt	444
11.8. Fragen und Aufgaben	458
<b>A. Anhang</b>	461
A.1. Häufig verwendete Formelzeichen	461
A.2. Physikalische Grundlagen, Ergänzungen	464
A.2.1. Physikalische Größen und Einheiten	464
A.2.2. Ausgewählte physikalische Naturkonstanten	467
A.2.3. Zur Definition von Ampere, Volt und Ohm	468

A.2.4. Licht und seine Wechselwirkungen . . . . . 470

A.2.5. Periodensystem der Elemente . . . . . 474

A.3. Mathematische Werkzeuge, Ergänzungen . . . . . 476

A.3.1. Vektoren . . . . . 476

A.3.2. Komplexe Zahlen und Funktionen . . . . . 478

A.3.3. Differentialgleichungen . . . . . 481

A.4. Ergänzungen zu passiven Bauelementen . . . . . 487

A.4.1. E-Reihen . . . . . 487

A.4.2. Leiter und Isolatoren – elektrische Eigenschaften . . . . . 488

A.5. Kodierung von Informationen . . . . . 489

A.5.1. Maßeinheit . . . . . 489

A.5.2. Kodierung von Zahlen . . . . . 491

A.5.3. Kodierung von Zeichen . . . . . 492

A.6. Digitale Gatter . . . . . 495

A.6.1. Unäre Operation . . . . . 495

A.6.2. Binäre Operationen . . . . . 495

A.6.3. Weitere Gatter . . . . . 499

A.6.4. Übersicht Flip-Flops . . . . . 500

A.7. Historisches . . . . . 503

A.7.1. Von der Entdeckung der Glühemission bis zur Entdeckung des Transistoreffektes 503

A.7.2. Von der Entdeckung der Halbleiterelemente bis zum Mikroprozessor . . . . . 504

A.7.3. Zeittafel zur Geschichte der Computertechnik . . . . . 505

Englische Fachbegriffe . . . . . 507

Literaturverzeichnis . . . . . 511

Stichwortverzeichnis . . . . . 517