

Inhaltsverzeichnis

Geleitwort	XIII
Vorwort	XV
Vorwort zur 2. Auflage	XVII
1. Einleitung und Überblick	1
2. Physikalische Grundlagen der Elektronik	5
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	28
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

3.	Grundlagen elektrischer Netzwerke	71
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.	Computergestützte Netzwerkanalyse	90
3.6.	Fragen und Aufgaben	91
4.	Halbleiter und Halbleiterbauelemente	93
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	137
5.	Signal und Information	141
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
6.	Analogschaltungen	157
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	169
6.3.1.	Verstärker als Vierpol	169
6.3.2.	Rückkopplung	170
6.3.3.	Transistor-Kleinsignalverstärker	172
6.3.4.	Direkt gekoppelte Verstärker	176
6.4.	Operationsverstärker	179
6.4.1.	Eigenschaften, Kenngrößen und Übertragungsfunktion	180
6.4.2.	Berechnung von Operationsverstärker-Schaltungen	182
6.4.3.	Lineare Grundsaltungen mit Operationsverstärkern	185
6.4.4.	Nichtlineare Schaltungen mit Operationsverstärkern	190
6.5.	Schwingungserzeugung – Oszillatoren	193
6.6.	Digital steuerbare Analogschaltungen	197
6.6.1.	Analogschalter und Analog-Multiplexer	198
6.6.2.	Programmierbare Verstärker	200
6.7.	Konzepte zur Stromversorgung	201
6.7.1.	Stromversorgung netzgebundener stationärer Geräte	201
6.7.2.	Stromversorgung mobiler Geräte	206
6.7.3.	Leistungs-Schalter und Umschalter, Energiemanagement	210
6.7.4.	Energy harvesting - Stromversorgung mit Energie aus der Umwelt	211
6.7.5.	Drahtlose Energieübertragung	212
6.8.	Fragen und Aufgaben	214
7.	Digitale Schaltungstechnik	217
7.1.	Grundlagen	218
7.1.1.	Digitale Signale und Digitalisierung	218
7.1.2.	Mathematische Beschreibung	222
7.2.	Logikklassen	228
7.2.1.	Schaltnetze, Kombinatorische Digitalisierungen	229
7.2.2.	Schaltwerke, Sequentielle Digitalisierungen	235
7.3.	Realisierung digitaler Schaltungen	244
7.3.1.	Schalter, Relais und Röhren	245
7.3.2.	Der Transistor als Schalter	247
7.3.3.	FET als Schalter	255
7.3.4.	Pass-Transistor Logik und differentielle Logik	268
7.4.	Busse und Digitale Ausgangsschaltungen	270
7.4.1.	Busse	270
7.4.2.	Open-Collector, Open-Drain Schaltungen und Wired Logic	272
7.4.3.	Tri-State	274
7.4.4.	Transmission Gate	276
7.5.	Zielarchitekturen	278
7.5.1.	ASIC	278
7.5.2.	PLD	279
7.6.	Fragen und Aufgaben	282

8.	Kombinatorische und sequentielle Digitalschaltungen	285
8.1.	Übersicht	285
8.2.	Kombinatorische Grundsaltungen	285
8.2.1.	Multiplexer und Demultiplexer	286
8.2.2.	Kodierer, Dekodierer und Codeumsetzer	287
8.2.3.	Halb- und Volladdierer, Addiererschaltungen	290
8.2.4.	Komparator	294
8.2.5.	Arithmetisch-Logische Einheit – ALU	295
8.3.	Sequentielle Schaltungen	296
8.3.1.	Flip-Flop	296
8.3.2.	Taktunabhängige Flip-Flops	299
8.3.3.	Taktpegelgesteuerte Flip-Flops und Latches	304
8.3.4.	Einflankengesteuerte Flip-Flops	308
8.3.5.	Master-Slave Flip-Flops	311
8.3.6.	Register	316
8.3.7.	Zähler- und Teilerschaltungen	323
8.3.8.	Digitale Kippschaltung	334
8.4.	Halbleiter-Speicherschaltungen	335
8.4.1.	Übersicht der Speichertechnologien	336
8.4.2.	Speicherorganisation	338
8.4.3.	RAM-Speicherzellen	340
8.4.4.	Festwertspeicher	344
8.4.5.	EEPROM-/Flash-Speicher	345
8.5.	Fragen und Aufgaben	350
9.	Sensorik	353
9.1.	Lebewesen und technische Systeme	353
9.1.1.	Unsere Sinne und Sinnesorgane – Sensoren, eine Gegenüberstellung	354
9.1.2.	Effektoren und Aktoren – eine Gegenüberstellung	355
9.1.3.	Sensoren und Aktoren im Prozess	356
9.2.	Effekte und Prinzipien zur Realisierung von Sensoren	357
9.2.1.	Abbildung nichtelektrischer Größen auf elektrische Größen	358
9.2.2.	Sensorelement – Sensor – Sensorsystem	358
9.2.3.	Die weitere Gliederung	361
9.3.	Sensoren mit beweglichen Komponenten	362
9.3.1.	Potentiometrische (resistive) Sensoren	362
9.3.2.	Kapazitive Sensoren	364
9.3.3.	Induktive Sensoren	367
9.4.	Temperatursensoren	368
9.4.1.	Widerstandsthermometer	368
9.4.2.	Thermoelektrischer Effekt und Thermoelemente	371
9.5.	Optische Sensoren	373
9.6.	Chemische Sensoren und Biosensoren	376
9.6.1.	Metalloxid-Gassensoren	378
9.6.2.	Leitfähigkeitssensoren für Flüssigkeiten	379

9.6.3.	Biosensoren	382
9.7.	Sensoren aus der Sicht des Anwenders	382
9.8.	Fragen und Aufgaben	383
10.	Anzeigen für elektrische Signale	385
10.1.	Mechanische Anzeigen (Zeigerinstrumente)	385
10.2.	Akustische Anzeige	387
10.2.1.	Piezoelektrische Schallwandler	387
10.2.2.	Dynamische Lautsprecher	388
10.3.	Optische Anzeigen und Displays	388
10.3.1.	Selbstleuchtende Anzeigen und Displays	390
10.3.2.	Nicht-selbstleuchtende Anzeigen und Displays	396
10.3.3.	Projektionssysteme	399
10.3.4.	Anmerkungen zum Energiebedarf verschiedener Displays	401
10.4.	Fragen und Aufgaben	401
11.	Analog-Digital- und Digital-Analog-Wandler	403
11.1.	Einleitung	403
11.2.	Wandlerkennlinien	406
11.2.1.	Digital-Analog-Wandler-Kennlinien	407
11.2.2.	Analog-Digital-Wandler-Kennlinien	409
11.3.	DAC-Wandlerprinzipien	411
11.3.1.	DAC nach dem Parallelverfahren	412
11.3.2.	DAC nach dem Wägeverfahren	413
11.3.3.	DAC nach dem Zählverfahren	415
11.4.	ADC-Wandlerprinzipien	416
11.4.1.	ADC nach dem Parallelverfahren	417
11.4.2.	ADC nach dem Wägeverfahren	418
11.4.3.	ADC nach dem Zählverfahren	419
11.4.4.	ADC nach dem interpolativen Sigma-Delta-Verfahren ($\Sigma\Delta$)	422
11.5.	Hilfsschaltungen	424
11.5.1.	Analoge Hilfsschaltungen	424
11.5.2.	Digitale Hilfsschaltungen und Schnittstellen	427
11.6.	Fragen und Aufgaben	430
12.	Mikrocontroller und SoC	433
12.1.	Begriff und Wurzeln	433
12.2.	Mikroprozessor, SoC und Mikrocontroller	437
12.3.	Informationsverarbeitung in SoC und Mikrocontrollern	442
12.4.	Hardware-Aspekte	445
12.4.1.	Prozessorkern (CPU)	445
12.4.2.	Das Bussystem	447
12.4.3.	Harvard- vs. von Neumann-Architektur	448
12.4.4.	Input-Output-Module	449
12.4.5.	Hilfsschaltungen	451

12.5.	Programmiermodell und -Software	453
12.6.	MSP430 – Einblicke in eine Mikrocontrollerfamilie	455
12.6.1.	MSP430 – Hardware, Komponenten und Ausbaustufen	456
12.6.2.	MSP430 – Software	468
12.6.3.	Mikrocontroller Entwicklungsumgebung und -werkzeuge	471
12.6.4.	MSP430 – ein kleines Projekt	475
12.7.	SoC-Systeme - eine Auswahl	490
12.7.1.	Der ESP8266 und ESP32	491
12.7.2.	Der Raspberry Pi	496
12.8.	Fragen und Aufgaben	499
13.	Simulation elektronischer Schaltungen	501
13.1.	Simulation und Synthese digitaler Schaltungen	502
13.2.	Analyse von analogen Schaltungen durch Software	504
13.2.1.	Netzliste	505
13.2.2.	Analysemethoden und Beispiele	506
13.2.3.	Simulations-Software	512
13.3.	Fragen und Aufgaben	513
A.	Anhang	515
A.1.	Häufig verwendete Formelzeichen	515
A.2.	Physikalische Grundlagen, Ergänzungen	518
A.2.1.	Physikalische Größen und Einheiten	518
A.2.2.	Ausgewählte physikalische Konstanten (Naturkonstanten)	521
A.2.3.	Zur Definition von Ampere, Volt und Ohm	522
A.2.4.	Licht und seine Wechselwirkungen	525
A.2.5.	Periodensystem der Elemente	529
A.3.	Mathematische Werkzeuge, Ergänzungen	531
A.3.1.	Koordinatensysteme	531
A.3.2.	Vektoren	532
A.3.3.	Komplexe Zahlen und Funktionen	534
A.3.4.	Differentialgleichungen	536
A.4.	Ergänzungen zu passiven Bauelementen	543
A.4.1.	E-Reihen	543
A.4.2.	Leiter und Isolatoren – elektrische Eigenschaften	544
A.5.	Kodierung von Informationen	545
A.5.1.	Maßeinheit	545
A.5.2.	Kodierung von Zahlen	547
A.5.3.	Kodierung von Zeichen	548
A.6.	Digitale Gatter	551
A.6.1.	Unäre Operation	551
A.6.2.	Binäre Operationen	551
A.6.3.	Weitere Gatter	555
A.6.4.	Übersicht Flip-Flops	556

A.7.	Ein-Chip-Systeme und Einplatinencomputer	559
A.7.1.	ESP-Systeme	559
A.7.2.	Ergänzung zum Raspberry Pi Einplatinencomputer	560
A.7.3.	Weitere aktuell verbreitete SoC	561
A.8.	Historisches	562
A.8.1.	Von der Entdeckung der Glühemission bis zur Entdeckung des Transistoreffektes	562
A.8.2.	Von der Entdeckung der Halbleiterelemente bis zum Mikroprozessor	563
A.8.3.	Zeittafel zur Geschichte der Computertechnik	564
A.8.4.	Zeittafel Scheibendurchmesser und Strukturbreiten	566
 Englische Fachbegriffe		567
 Literaturverzeichnis		572
 Stichwortverzeichnis		583