
Ekbert Hering · Klaus Bressler ·
Jürgen Gutekunst
(Hrsg.)

Elektronik für Ingenieure und Naturwissenschaftler

7., aktualisierte und verbesserte Auflage

Unter Mitarbeit von: Manfred Crygon,
Julian Endres, Rainer Höhnle,
Joachim Kempkes, Rolf Martin,
Harald Rudolph, Jürgen Schüle

 Springer Vieweg

Inhaltsverzeichnis

1	Grundlagen der Elektrotechnik	1
	Ekbert Hering und Rolf Martin	
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	4
1.2.4	Widerstand und Leitwert	5
1.2.5	Elektrische Arbeit und elektrische Leistung	6
1.2.6	Ohm'sches Gesetz	8
1.2.7	Richtungssinn	9
1.2.8	Bildzeichen	9
1.3	Elektrische Netze – Kirchhoff'sche Regeln	9
1.3.1	Knotenregel (1. Kirchhoff'sches Gesetz)	9
1.3.2	Maschenregel (2. Kirchhoff'sches Gesetz)	11
1.3.3	Anwendung der Kirchhoff'schen Gesetze	12
1.4	Grafische Verfahren zur Ermittlung von Strömen und Spannungen	18
1.4.1	Reihenschaltung mit linearem Widerstand und einem Kaltleiter (PTC)	18
1.4.2	Reihenschaltung mit linearem Widerstand und zwei nichtlinearen Bauelementen (Z-Dioden)	19
1.4.3	Schaltungskombination aus linearem Wider- stand, Kaltleiter und Heißeiter	20
1.5	Maschen- und Knotenanalyse	22
1.5.1	Ersatzspannungs- und Ersatzstromquelle	22
1.5.2	Lineare Überlagerung (Superpositionsprinzip nach HELMHOLTZ)	24
1.5.3	Berechnung elektrischer Netzwerke	25
1.5.4	Brückenschaltungen	32
1.5.5	Simulation elektronischer Schaltungen	34
1.6	Grundlagen der Wechselstromlehre	39
1.6.1	Grundlagen komplexer Rechnung	39
1.6.2	Kenngößen	44
1.6.3	Komplexe Rechnung im Wechselstromkreis	46
1.6.4	Nicht sinusförmige Wechselgrößen	56
1.6.5	Dämpfung und Verstärkung	59

1.6.6	Shannon'sches Abtasttheorem	61
1.6.7	Übung	63
1.7	Bezeichnung und Messung elektrischer Größen	63
1.7.1	Bezeichnung elektrischer Größen	63
1.7.2	Messung elektrischer Größen	64
1.8	Grundlagen der Halbleiterphysik	65
1.8.1	Materialien	65
1.8.2	Energiebänder	65
1.8.3	Ladungsträgerkonzentration	69
1.8.4	Beweglichkeit	75
1.8.5	Leitfähigkeit	76
1.8.6	Ausgleichsvorgänge	77
1.8.7	pn-Übergang	80
1.8.8	Zur Übung	85
1.9	Herstellung kompletter Schaltungen	87
1.9.1	Leiterplatten	87
1.9.2	Streifenleiter	91
1.9.3	SMT (Surface Mounted Technology)	91
1.9.4	Dickschicht-Technologie	93
1.9.5	Dünnschicht-Technologie	93
1.9.6	Trägermaterial mit eingebetteten Bauteilen	94
1.10	Weiterführende Literatur	94
2	Passive Bauelemente	95
	Ekbert Hering und Klaus Bressler	
2.1	Elektronische Bauelemente	95
2.1.1	Übersicht	95
2.1.2	Anforderungen und Anwendungsklassen	95
2.1.3	Zuverlässigkeit	96
2.1.4	Normreihen	101
2.1.5	Klassifikation von diskreten Halbleiter-Bauelementen	102
2.1.6	Datenblätter	102
2.2	Widerstände	103
2.2.1	Übersicht über die Widerstände	103
2.2.2	Lineare Festwiderstände	104
2.2.3	Nichtlineare Widerstände	110
2.2.4	Einstellbare Widerstände (Potenziometer und Trimmer)	117
2.2.5	Zur Übung	118
2.3	Kondensatoren	118
2.3.1	Übersicht über die Kondensatoren	122
2.3.2	Kondensatoren mit dünnen Folien als Dielektrikum	123
2.3.3	Elektrolyt-Kondensatoren	128
2.3.4	Keramik-Kondensatoren	131
2.3.5	Einstellbare Kondensatoren	135
2.4	Induktivitäten	136

	2.4.1	Kerneigenschaften	136
	2.4.2	Wicklungseigenschaften	143
2.5		Dioden	146
	2.5.1	Schaltdioden	147
	2.5.2	Schottky-Dioden	150
	2.5.3	Gleichrichterioden	152
	2.5.4	Schottky-Leistungsdioden	157
	2.5.5	Z-Dioden	157
	2.5.6	Diac Triggerdioden	159
	2.5.7	Fotodioden	159
	2.5.8	Kapazitätsdioden	161
	2.5.9	Pin-Dioden	162
	2.5.10	Step-Recovery-Dioden	165
	2.5.11	Tunneldioden	165
	2.5.12	Backwarddioden	166
3		Transistoren	167
		Klaus Bressler und Harald Rudolph	
3.1		Transistoren	167
	3.1.1	Arten von Transistoren und deren Aufbau	167
	3.1.2	Beschaltung und Funktion des Transistors	169
	3.1.3	Wichtige Kennwerte von Transistoren	170
	3.1.4	Weitere Kennwerte	176
	3.1.5	Transistor-Grenzwerte	177
	3.1.6	Typenschlüssel für Halbleiter	181
	3.1.7	Transistordatenblatt	183
3.2		Analoge Grundsaltungen mit bipolaren Transistoren	183
	3.2.1	Emitterschaltung	183
	3.2.2	Kollektorschaltung	193
	3.2.3	Basisschaltung	195
	3.2.4	Stromquelle	197
	3.2.5	Stromspiegel	198
	3.2.6	Differenzverstärker	199
	3.2.7	Darlingtonschaltung	204
	3.2.8	Verstärker für höhere Frequenzen	205
	3.2.9	Kaskodeschaltung	207
3.3		Feldeffekttransistoren	208
	3.3.1	Sperrschicht-Feldeffekttransistoren (JFET)	209
	3.3.2	MOS-Feldeffekttransistoren	211
	3.3.3	Weitere Kennwerte der Feldeffekttransistoren	214
	3.3.4	Grenzwerte der Feldeffekttransistoren	216
3.4		Schaltungstechnik mit Feldeffekttransistoren	217
	3.4.1	Übergang vom bipolaren Transistor zum Feldeffekttransistor	217
	3.4.2	Grundsaltungen der Feldeffekttransistoren	218
	3.4.3	Stabilisierung des Arbeitspunktes und der Verstärkung durch Gegenkopplung	219
	3.4.4	Wirkung der Gegenkopplung	220

3.4.5	Differenzverstärker mit Feldeffekttransistoren . .	221
3.4.6	Steuerbare Spannungsteiler mit Feldeffekttransistoren	222
3.4.7	Feldeffekttransistoren als Schalter für analoge Signale	222
3.4.8	Dual-Gate-MOSFET (Doppelgate-MOSFET) . .	223
3.4.9	MOSFET-Leistungstransistoren für Schalter . . .	223
3.4.10	MOSFET-Leistungstransistoren für analoge Verstärker	229
3.5	Lineare und nichtlineare Verstärker	231
3.5.1	Wichtige Eigenschaften linearer Verstärker . . .	231
3.5.2	Herleitung der Oberschwingungen und der Mischprodukte	231
3.5.3	Messverfahren zur Beurteilung von Verstärkern .	232
3.5.4	Nichtlineare Verstärker	233
3.5.5	Aufbau linearer Verstärker in der Praxis	233
3.5.6	Schaltungstechnische Besonderheiten gegengekoppelter Verstärker	235
3.5.7	Vorsichtsmaßnahmen beim Umgang mit Halbleitern	236
3.5.8	Rechnergestützte Schaltungsberechnung	237
3.6	Zur Übung	237
3.7	Quarzoszillatoren	238
3.7.1	Grundlagen	238
3.7.2	Frequenzstabilität und Frequenzgenauigkeit . . .	240
3.7.3	Kurzzeitstabilität, Phasenrauschen und Jitter . . .	241
3.7.4	Phasenrauschen	242
3.7.5	Phasenjitter	243
3.7.6	Langzeitstabilität	244
3.7.7	Last- und Betriebsspannungsabhängigkeit der Frequenz	245
3.7.8	Frequenzgenauigkeit	245
3.7.9	XOs	246
3.7.10	Temperaturabhängigkeit der Frequenz	246
3.7.11	VCXO	247
3.7.12	Hochfrequente VCXOs	248
3.7.13	(VC)TCXOs	249
3.7.14	(VC)OCXOs	251
3.7.15	Auswahlkriterien	253
3.7.16	Kostenparameter von Quarzoszillatoren	254
3.7.17	Vor- und Nachteile von Ausgangssignalformen .	254
3.7.18	Anpassung der Schnittstelle zum Verbraucher . .	255
3.7.19	Ausführungsformen von Quarzoszillatoren . . .	256
3.8	Weiterführende Literatur zu Abschn. 3.1 bis Abschn. 3.5	257
3.8.1	Normen	258
3.8.2	Weiterführende Literatur zu Abschn. 3.7	258
3.8.3	Web-Seiten	258

4	Hochfrequenz-Verstärker	259
	Jürgen Langner	
4.1	Anpassung und Reflexion	259
4.2	Transport der Hochfrequenz auf Leitungen	260
4.3	Wellenwiderstand einer Hochfrequenzleitung	262
4.4	Eingangs- und Ausgangswiderstände von HF-Transistoren	263
4.4.1	S-Parameter	264
4.4.2	Definition der S-Parameter	264
4.4.3	Messung der S-Parameter	265
4.5	Rauschparameter	266
4.5.1	Rauschfaktor	267
4.5.2	Rauschen bei mehrstufigen Verstärkern	268
4.6	Darstellung komplexer Größen	268
4.7	Anwendung des Smith-Diagramms	270
4.7.1	Zur Übung	274
4.8	Aufbau von HF-Schaltungen aus fertigen HF-Bauteilen	274
4.8.1	Verstärker	275
4.8.2	Leistungsteiler (engl.: Power Divider)	276
4.8.3	Richtkoppler – (engl.: Directional Couplers)	276
4.8.4	90°-Hybrid-Koppler – (engl.: 90° Hybrid Coupler)	277
4.8.5	Zirkulator – (engl.: Circulator)	277
4.8.6	Tiefpassfilter – (engl.: Low-Pass Filter) und Hochpassfilter (engl.: High Pass Filter)	278
4.8.7	Bandpassfilter – (engl.: Band-Pass Filter)	278
4.8.8	Mischer – (engl.: Mixer)	279
4.8.9	Demodulator – Detektor (engl.: Demodulator)	280
4.8.10	Beispiel einer HF-Schaltung aus fertigen Komponenten	280
4.8.11	Zur Übung	281
4.9	Weiterführende Literatur	282
4.9.1	Web-Seiten	282
5	Bauelemente der Leistungselektronik	283
	Jürgen Gutekunst	
5.1	Passive Bauelemente	283
5.1.1	Induktivitäten	284
5.1.2	Stromtransformatoren	287
5.1.3	Kondensatoren	289
5.1.4	Hochleistungswiderstände	294
5.1.5	Hochleistungsdioden	296
5.1.6	Schutzelemente	296
5.2	Aktive Bauelemente	297
5.2.1	Power MOS-FET	298
5.2.2	Darlingtonschaltung	298
5.2.3	IGBT	299
5.2.4	Smart Power ICs	300

5.2.5	SCR (Silicon Controlled Rectifier), Thyristor . . .	301
5.2.6	GTO	304
5.2.7	Triac	304
5.2.8	Sicherheitsbeschaltung von Leistungshalbleitern	304
5.2.9	Spannungssteuerung eines Thyristors	305
5.3	Weiterführende Literatur	306
6	Optoelektronik	307
	Rolf Martin	
6.1	Einleitung	307
6.2	Radiometrische und fotometrische Größen	308
6.2.1	Radiometrische Größen	309
6.2.2	Fotometrische Größen	310
6.3	Halbleiter-Sender	312
6.3.1	Strahlungsemission aus Halbleitern	312
6.3.2	Lumineszenzdioden	313
6.3.3	Halbleiterlaser	322
6.4	Displays	329
6.4.1	Anthropotechnische Gesichtspunkte	329
6.4.2	Displaytypen	330
6.4.3	Analoganzeigen	336
6.4.4	Numerische Anzeigen	336
6.4.5	Alphanumerische Anzeigen	339
6.5	Halbleiter-Detektoren	340
6.5.1	Strahlungsabsorption in Halbleitern	340
6.5.2	Gütekriterien von Detektoren	341
6.5.3	Fotowiderstand	342
6.5.4	Fotodiode	345
6.5.5	Solarzelle	355
6.5.6	Wirkungsweise	355
6.5.7	Wirkungsgrad	357
6.5.8	Fototransistor	360
6.5.9	Fotothyristor	362
6.5.10	Bildsensoren	363
6.6	Optokoppler	367
6.7	Lichtwellenleiter	371
6.8	Zur Übung	377
6.9	Weiterführende Literatur	379
7	Sensoren	381
	Ekbert Hering	
7.1	Grundlagen	381
7.1.1	Definition und Einteilung	381
7.1.2	Wirtschaftliche und technische Bedeutung	381
7.2	Sensoren für die wichtigsten Messgrößen	386
7.2.1	Weg- und Positions-Sensoren	386
7.2.2	Kraft- und Druck-Sensoren	391
7.2.3	Temperatur-Sensoren	392

7.3	Werkstoffe und Technologien	394
7.3.1	Siliciumtechnik	394
7.3.2	Dünnschichttechnik	397
7.3.3	Dickschichttechnik	398
7.3.4	Faseroptische Sensoren	399
7.3.5	Chemische Sensoren	400
7.4	Bevorzugte Einsatzgebiete	402
7.5	Weiterführende Literatur	404
8	Analoge integrierte Schaltungen	405
	Klaus Bressler und Rolf Martin	
8.1	Herstellung und Technologie	405
8.2	Operationsverstärker	406
8.2.1	Idealer und realer Operationsverstärker	406
8.2.2	Schaltungstechnischer Aufbau	407
8.2.3	Beispiel eines Standardverstärkers	412
8.2.4	Operationsverstärker für höhere Anforderungen	415
8.2.5	Stabilitätsbetrachtung	416
8.2.6	Verstärker mit sehr kleiner Offsetspannung (Zero Drift)	420
8.2.7	Verstärker für eine Versorgungsspannung	421
8.2.8	Rail to Rail Verstärker	422
8.2.9	Sehr schnelle Operationsverstärker	423
8.2.10	Verschiedene Operationsverstärker mit besonderen Eigenschaften	425
8.3	Operationsverstärker mit statischer Beschaltung	425
8.3.1	Invertierender Spannungsverstärker	428
8.3.2	Nicht invertierender Spannungsverstärker	429
8.3.3	Subtrahierverstärker	430
8.3.4	Schmitt-Trigger	432
8.3.5	Nichtlinearer Verstärker	433
8.3.6	Addierender Verstärker, invertierend	435
8.3.7	Konstantstromquellen	436
8.3.8	Idealer Einweggleichrichter	437
8.3.9	Zweiweggleichrichter ohne gemeinsames Potenzial	438
8.3.10	Zweiweggleichrichter mit gemeinsamem Potenzial	438
8.3.11	Spitzenwertgleichrichter	439
8.3.12	Logarithmierschaltung	439
8.3.13	Delogarithmierschaltung (Exponentialverstärker)	441
8.4	Operationsverstärker mit dynamischer Beschaltung	442
8.4.1	Integrator	443
8.4.2	Differenzierer	447
8.4.3	Filterschaltungen	448
8.5	Weitere wichtige integrierte Anlogschaltungen	458
8.5.1	Komparatoren	458
8.5.2	Spannungsregler	459

8.5.3	Bandabstands-Referenzelement (Bandgap Voltage Reference)	461
8.6	Zur Übung	465
8.7	Weiterführende Literatur	466
9	Digital-Analog (DA)-, Analog-Digital (AD)-Wandler und digitale Filter	467
	Klaus Bressler und Julian Endres	
9.1	Digital-Analog-Wandler (DA-Wandler)	467
9.1.1	R-2R-Leiternetzwerk	468
9.1.2	Multiplizierender DA-Wandler	469
9.1.3	Vier-Quadranten multiplizierender DA-Wandler	470
9.1.4	Parallel-DA-Wandler	471
9.1.5	Datenwandler mit mikroprozessorkompatibler Schnittstelle	472
9.1.6	Unerwünschte Spitzen beim Weiterzählen des digitalen Eingangswertes	473
9.1.7	Fehler bei der Datenumsetzung	475
9.1.8	Delta-Sigma DA-Wandler	476
9.2	Analog-Digital-Wandler (AD-Wandler)	477
9.2.1	Integrierende Analog-Digital-Wandler	477
9.2.2	Analog-Digital-Wandler nach dem Prinzip der sukzessiven Approximation	481
9.2.3	Abtast- und Halteschaltung (Sample and Hold) .	483
9.2.4	Parallel-Analog-Digital-Wandler	484
9.2.5	Analog-Digital-Wandler nach dem Delta-Sigma-Verfahren	486
9.3	Digitale Filter	490
9.3.1	Grundlagen und Eigenschaften zeitdiskreter LTI-Systeme	490
9.3.2	Infinite Impulse Response-Filter (IIR-Filter) . .	493
9.3.3	Finite Impulse Response (FIR)-Filter	495
9.3.4	Implementierung digitaler Filter	498
9.4	Weiterführende Literatur	502
10	Elektronische Regler	503
	Joachim Kempkes	
10.1	Steuerung und Regelung	503
10.2	Grundlagen	504
10.2.1	Aufbau des Regelkreises	505
10.2.2	Regelstrecke	505
10.2.3	Offener und geschlossener Regelkreis	512
10.2.4	Stabilität	514
10.3	Reglerentwurf	515
10.3.1	Reglertypen	516
10.3.2	Kaskadenregelung	519
10.3.3	Optimierung und Simulation	523
10.3.4	Empirische Einstellregeln	525

10.4	Zur Übung	527
10.5	Weiterführende Literatur	527
11	Grundlagen der digitalen Schaltungstechnik	529
	Jürgen Gutekunst	
11.1	Zahlensysteme	529
11.1.1	Duales Zahlensystem	530
11.1.2	Hexadezimalen Zahlensystem	531
11.1.3	BCD-Zahlensystem	534
11.1.4	Erweiterungen des binären Zahlensystems	535
11.2	Kodes	539
11.2.1	Gray-Kode	540
11.2.2	Fernschreibe-Kode	541
11.2.3	ASCII-Kode	543
11.2.4	Redundante Kodes	546
11.2.5	Fehlererkennende Kodes	546
11.2.6	Fehlerkorrigierende Kodes	548
11.3	Grundlagen der Boole'schen Algebra	551
11.3.1	Binäre Verknüpfungen	551
11.3.2	Gesetze von Boole und De Morgan	554
11.3.3	Entwicklung einer Schaltung mit Hilfe der Boole'schen Algebra	557
11.4	Minimierung nach Karnaugh-Veitch	559
11.4.1	Grundlagen	559
11.4.2	Karnaugh-Veitch-Diagramm für drei Eingangsvariable	562
11.4.3	Karnaugh-Veitch-Diagramm für vier Eingangsvariable	563
11.4.4	Karnaugh-Veitch-Diagramm für fünf Eingangsvariable	564
11.4.5	Karnaugh-Veitch-Diagramm für sechs und mehr Eingangsvariable	566
11.4.6	Beispiele zur Karnaugh-Veitch-Minimierung	568
11.5	Zur Übung	570
11.6	Weiterführende Literatur	573
12	Digitale Bauelemente	575
	Jürgen Gutekunst	
12.1	Logikfamilien	576
12.1.1	TTL	579
12.1.2	FAST	582
12.1.3	CMOS	583
12.1.4	High-Speed-CMOS	587
12.1.5	ECL	591
12.1.6	Schaltzeichen und Gehäuseformen	593
12.2	Flip Flops und Zähler	595
12.2.1	Flip Flops	595
12.2.2	Zähler	598

12.3	Speicherbauteile und Speicheraufbau	600
12.3.1	Flüchtige Speicher	601
12.3.2	Nicht flüchtige Speicher	603
12.3.3	Sonderformen von Speicherbauteilen	605
12.3.4	Aufbau großer Speichersysteme	607
12.4	Mikrorechner	608
12.4.1	Mikroprozessoren	610
12.4.2	Mikro Controller	612
12.4.3	RISC-Computer	614
12.4.4	Transputer	615
12.5	Zur Übung	616
12.6	Weiterführende Literatur	617
13	Entwicklung digitaler Schaltungen	619
	Jürgen Gutekunst	
13.1	Entwicklungsphasen	619
13.2	Pulsfahrplan	625
13.3	Leitungen für digitale Signale	628
13.3.1	Bandbegrenzung digitaler Signale	628
13.3.2	Reflexionen	630
13.4	Störfreier Entwurf digitaler Schaltungen (Glitch-Free-Design)	642
13.5	Phase Locked Loop	645
13.5.1	Grundlagen	645
13.5.2	Digitaler PLL	648
13.5.3	Tiefpass 1. Ordnung	655
13.6	Zur Übung	656
13.7	Weiterführende Literatur	658
14	ASIC	659
	Jürgen Gutekunst	
14.1	Übersicht	661
14.1.1	Digitale ASIC-Familien	661
14.1.2	Analoge ASIC	662
14.2	Programmierbare logische Bauteile (PLD)	665
14.2.1	Aufbau des PAL (Programmable Array Logic)	666
14.2.2	Realisierung einer Schaltung	671
14.2.3	Testen von PLD-Bauteilen	672
14.3	Digitale Gate-Arrays	675
14.3.1	Kanal-Gate-Array	675
14.3.2	Kanallose Gate-Arrays (Sea of Gates)	676
14.3.3	Programmierbare Gate-Arrays	677
14.4	Standard-Zellen-ASIC	681
14.4.1	Aufbau der Standard-Zellen-ASIC	683
14.4.2	Elektronenstrahl-Direkt-Schreibverfahren	684
14.4.3	Standardisierte Kundenschaltschreibe (Application Specific Standard Products, ASSP)	685
14.5	Weiterführende Literatur	686

15	Schnittstellen, Bussysteme und Netze	687
	Jürgen Gutekunst	
15.1	Grundbegriffe der Datenübertragung	688
15.1.1	Verbindung, Betrieb und Übertragung	688
15.1.2	Grundlagen zur seriellen Datenübertragung	690
15.1.3	Grundlagen zur parallele Datenübertragung	692
15.1.4	Topologien	693
15.2	Parallele Schnittstellen	694
15.2.1	IEC-Bus	694
15.2.2	SCSI-Bus	696
15.3	Serielle Schnittstellen	699
15.3.1	TIA-232-F, V.24-Schnittstelle	699
15.3.2	I ² C -Schnittstelle	705
15.3.3	SPI-Schnittstelle	707
15.3.4	USB	708
15.3.5	Bluetooth	710
15.3.6	IO-Link	712
15.4	Bussysteme	716
15.4.1	Struktur und Arbitrierungsverfahren	716
15.4.2	Profibus	718
15.4.3	CAN-Bus	720
15.5	Netze	725
15.5.1	Einführung	725
15.5.2	Das OSI-Modell	726
15.5.3	Zugriffverfahren bei Netzen	730
15.6	Ethernet	731
15.6.1	Einführung	733
15.6.2	Ethernet Hub und Ethernet Switch	736
15.6.3	TCP/IP	737
15.6.4	Echtzeit Ethernet-Protokolle	738
15.7	Weiterführende Literatur	743
15.7.1	Organisationen im Web:	744
16	Speicherprogrammierbare Steuerungen	745
	Rainer Hönle	
16.1	Einführung	745
16.2	Aufbau und Funktionsweise einer SPS	751
16.3	Befehle einer SPS	754
16.3.1	Basisfunktionen	754
16.3.2	Digitalfunktionen	764
16.3.3	Sprungoperationen	772
16.3.4	Programmfluss-Steuerung	775
16.4	Programmierung einer SPS	776
16.5	Kleinststeuerungen	789
16.6	Zur Übung	791
16.7	Weiterführende Literatur	792
16.8	Marken und Warenzeichen	792

17	Spannungsversorgungen	793
	Jürgen Gutekunst	
17.1	Trafonetzgeräte	793
17.1.1	Potenzialtrennung	794
17.1.2	Transformator	794
17.1.3	Transformator-Netzteil	796
17.1.4	Gleichrichter-Schaltungen	796
17.1.5	Lineare Regler	800
17.2	Spannungswandler	804
17.2.1	Prinzip der getakteten Stromversorgung	805
17.2.2	Durchflusswandler	807
17.2.3	Sperrwandler oder Inverswandler	815
17.3	Unterbrechungsfreie Stromversorgungen (USV)	816
17.3.1	Aufbau der USV	816
17.3.2	Störunterdrückung durch die USV	819
17.4	Entstörtechnik und Netzfilter	820
17.4.1	Entstörkondensatoren	820
17.4.2	Netzfilter	821
17.4.3	Dreiphasen Netzfilter	821
17.5	Zur Übung	823
17.6	Weiterführende Literatur	823
18	Lösungen der Übungsaufgaben	825
	Ekbert Hering, Klaus Bressler, Rolf Martin, Jürgen Gutekunst und Rainer Hönle	
18.1	Grundlagen der Elektrotechnik	825
18.2	Passive Bauelemente	827
18.3	Aktive Bauelemente	827
18.4	Hochfrequenz (HF)-Verstärker	827
18.5	Bauelemente der Leistungselektronik	828
18.6	Optoelektronik	828
18.7	Sensoren	829
18.8	Analoge integrierte Schaltungen	829
18.9	Digital-Analog- und Analog-Digital-Wandler	830
18.10	Elektronische Regler	830
18.11	Grundlagen der digitalen Schaltungstechnik	832
18.12	Digitale Bauelemente	836
18.13	Entwicklung digitaler Schaltungen	836
18.14	ASIC	840
18.15	Schnittstellen, Bussysteme und Netze	840
18.16	Speicherprogrammierbare Steuerungen	840
18.17	Spannungsversorgung	842
	Sachverzeichnis	843