

Inhaltsverzeichnis

1	Grundlagen der Elektrotechnik	1
	Ekbert Hering und Rolf Martin	
1.1	Physikalische Größen und Einheiten	1
1.2	Grundbegriffe	3
1.2.1	Ladung	3
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	8
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 Widerstand, Kaltleiter und Heißeiter	20
1.5	Maschen- und Knotenanalyse	21
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	Bauelemente mit elektrischen und magnetischen Feldern	39
1.6.1	Kondensatoren	40
1.6.2	Spulen	41
1.7	Grundlagen der Wechselstromlehre	44
1.7.1	Grundlagen komplexer Rechnung	44
1.7.2	Kenngrößen	48

1.7.3	Komplexe Rechnung im Wechselstromkreis . . .	51
1.7.4	Nicht sinusförmige Wechselgrößen	61
1.7.5	Dämpfung und Verstärkung	63
1.7.6	Shannon'sches Abtasttheorem	65
1.7.7	Übung	67
1.8	Zweitore	68
1.8.1	Grundlagen	68
1.8.2	Zweitorgleichungen	68
1.8.3	Umrechnung der Zweitormatrizen	70
1.8.4	Schaltung von Zweitoren	70
1.8.5	Symmetrieeigenschaften	71
1.8.6	Betriebsverhalten	72
1.8.7	Zur Übung	73
1.9	Bezeichnung und Messung elektrischer Größen	74
1.9.1	Bezeichnung elektrischer Größen	74
1.9.2	Messung elektrischer Größen	75
1.10	Grundlagen der Halbleiterphysik	75
1.10.1	Materialien	75
1.10.2	Energiebänder	75
1.10.3	Ladungsträgerkonzentration	79
1.10.4	Beweglichkeit	85
1.10.5	Leitfähigkeit	86
1.10.6	Ausgleichsvorgänge	87
1.10.7	pn-Übergang	90
1.10.8	Zur Übung	95
1.11	Herstellung kompletter Schaltungen	96
1.11.1	Leiterplatten	97
1.11.2	Streifenleiter	100
1.11.3	SMT (Surface Mounted Technology)	101
1.11.4	Dickschicht-Technologie	102
1.11.5	Dünnschicht-Technologie	103
1.11.6	Trägermaterial mit eingebetteten Bauteilen . . .	104
1.12	Weiterführende Literatur	104
2	Passive Bauelemente	105
	Ekbert Hering, Rolf Martin und Julian Endres	
2.1	Elektronische Bauelemente	105
2.1.1	Übersicht	105
2.1.2	Anforderungen und Anwendungsklassen	106
2.1.3	Zuverlässigkeit	107
2.1.4	Normreihen	110
2.1.5	Klassifikation von diskreten Halbleiter-Bauelementen	112
2.1.6	Datenblätter	112
2.2	Widerstände	113
2.2.1	Übersicht über die Widerstände	113
2.2.2	Lineare Festwiderstände	114
2.2.3	Nichtlineare Widerstände	119

	2.2.4	Einstellbare Widerstände (Potenziometer und Trimmer)	126
	2.2.5	Zur Übung	128
2.3		Kondensatoren	128
	2.3.1	Übersicht über die Kondensatoren	129
	2.3.2	Kondensatoren mit dünnen Folien als Dielektrikum	134
	2.3.3	Elektrolyt-Kondensatoren	137
	2.3.4	Keramik-Kondensatoren	141
	2.3.5	Einstellbare Kondensatoren	144
2.4		Induktivitäten	146
	2.4.1	Kerneigenschaften	146
	2.4.2	Wicklungseigenschaften	152
2.5		Dioden	155
	2.5.1	Schaltioden	156
	2.5.2	Schottky-Dioden	159
	2.5.3	Gleichrichterioden	160
	2.5.4	Schottky-Leistungsioden	166
	2.5.5	Z-Dioden	166
	2.5.6	Diac Triggerioden	168
	2.5.7	Fotioden	168
	2.5.8	Kapazitätsioden	170
	2.5.9	Pin-Dioden	171
	2.5.10	Step-Recovery-Dioden	173
	2.5.11	Tunneldioden	174
	2.5.12	Backwardioden	174
3		Aktive Bauelemente	175
		Julian Endres und Harald Rudolph	
	3.1	Transistoren	175
	3.1.1	Arten von Transistoren und deren Aufbau	175
	3.1.2	Beschaltung und Funktion des Transistors	177
	3.1.3	Wichtige Kennwerte von Transistoren	178
	3.1.4	Weitere Kennwerte	184
	3.1.5	Transistor-Grenzwerte	185
	3.1.6	Typenschlüssel für Halbleiter	189
	3.1.7	Transistordatenblatt	190
	3.2	Analoge Grundschaltungen mit bipolaren Transistoren	191
	3.2.1	Emitterschaltung	191
	3.2.2	Kollektorschaltung	201
	3.2.3	Basisschaltung	203
	3.2.4	Stromquelle	205
	3.2.5	Stromspiegel	206
	3.2.6	Differenzverstärker	207
	3.2.7	Darlingtonschaltung	212
	3.2.8	Verstärker für höhere Frequenzen	213
	3.2.9	Kaskodeschaltung	215

3.3	Feldeffekttransistoren	216
3.3.1	Sperrschicht-Feldeffekttransistoren (JFET) . . .	217
3.3.2	MOS-Feldeffekttransistoren	219
3.3.3	Weitere Kennwerte der Feldeffekttransistoren . .	222
3.3.4	Grenzwerte der Feldeffekttransistoren	224
3.4	Schaltungstechnik mit Feldeffekttransistoren	225
3.4.1	Übergang vom bipolaren Transistor zum Feldeffekttransistor	225
3.4.2	Grundsaltungen der Feldeffekttransistoren . .	227
3.4.3	Stabilisierung des Arbeitspunktes und der Verstärkung durch Gegenkopplung	227
3.4.4	Wirkung der Gegenkopplung	228
3.4.5	Differenzverstärker mit Feldeffekttransistoren . .	229
3.4.6	Steuerbare Spannungsteiler mit Feldeffekttransistoren	229
3.4.7	Feldeffekttransistoren als Schalter für analoge Signale	230
3.4.8	Dual-Gate-MOSFET (Doppelgate-MOSFET) . .	230
3.4.9	MOSFET-Leistungstransistoren für Schalter . .	231
3.4.10	MOSFET-Leistungstransistoren für analoge Verstärker	237
3.5	Lineare und nichtlineare Verstärker	239
3.5.1	Wichtige Eigenschaften linearer Verstärker . . .	239
3.5.2	Herleitung der Oberschwingungen und der Mischprodukte	239
3.5.3	Messverfahren zur Beurteilung von Verstärkern .	240
3.5.4	Nichtlineare Verstärker	240
3.5.5	Aufbau linearer Verstärker in der Praxis	241
3.5.6	Schaltungstechnische Besonderheiten gegengekoppelter Verstärker	243
3.5.7	Vorsichtsmaßnahmen beim Umgang mit Halbleitern	244
3.5.8	Rechnergestützte Schaltungsberechnung	245
3.6	Zur Übung	245
3.7	Quarzoszillatoren	246
3.7.1	Grundlagen	246
3.7.2	Frequenzstabilität und Frequenzgenauigkeit . .	248
3.7.3	Kurzzeitstabilität, Phasenrauschen und Jitter . .	249
3.7.4	Phasenrauschen	250
3.7.5	Phasenjitter	251
3.7.6	Langzeitstabilität	252
3.7.7	Last- und Betriebsspannungsabhängigkeit der Frequenz	253
3.7.8	Frequenzgenauigkeit	253
3.7.9	XOs	254
3.7.10	Temperaturabhängigkeit der Frequenz	254
3.7.11	VCXOs	255

	3.7.12	Hochfrequente VCXOs	256
	3.7.13	(VC)TCXOs	257
	3.7.14	(VC)OCXOs	259
	3.7.15	Auswahlkriterien	261
	3.7.16	Kostenparameter von Quarzoszillatoren	262
	3.7.17	Vor- und Nachteile von Ausgangssignalformen	262
	3.7.18	Anpassung der Schnittstelle zum Verbraucher	264
	3.7.19	Ausführungsformen von Quarzoszillatoren	264
3.8		Weiterführende Literatur zu Abschn. 3.1 bis Abschn. 3.5	265
	3.8.1	Normen	266
3.9		Weiterführende Literatur zu Abschn. 3.7	266
	3.9.1	Web-Seiten	266
4		Hochfrequenz-Verstärker	267
		Julian Endres	
	4.1	Anpassung und Reflexion	267
	4.2	Transport der Hochfrequenz auf Leitungen	268
	4.3	Wellenwiderstand einer Hochfrequenzleitung	270
	4.4	Eingangs- und Ausgangswiderstände von HF-Transistoren	271
	4.4.1	S-Parameter	272
	4.4.2	Definition der S-Parameter	272
	4.4.3	Messung der S-Parameter	273
	4.5	Rauschparameter	274
	4.5.1	Rauschfaktor	275
	4.5.2	Rauschen bei mehrstufigen Verstärkern	276
	4.6	Darstellung komplexer Größen	276
	4.7	Anwendung des Smith-Diagramms	279
	4.8	Aufbau von HF-Schaltungen aus fertigen HF-Bauteilen	282
	4.8.1	Verstärker	283
	4.8.2	Leistungsteiler (engl.: Power Divider)	283
	4.8.3	Richtkoppler – (engl.: Directional Couplers)	284
	4.8.4	90°-Hybrid-Koppler – (engl.: 90° Hybrid Coupler)	284
	4.8.5	Zirkulator – (engl.: Circulator)	285
	4.8.6	Tiefpassfilter – (engl.: Low-Pass Filter) und Hochpassfilter – (engl.: High Pass Filter)	285
	4.8.7	Bandpassfilter – (engl.: Band-Pass Filter)	286
	4.8.8	Mischer – (engl.: Mixer)	286
	4.8.9	Demodulator – Detektor (engl.: Demodulator)	287
	4.8.10	Beispiel einer HF-Schaltung aus fertigen Komponenten	288
	4.8.11	Zur Übung	289
4.9		Weiterführende Literatur	289
	4.9.1	Web-Seiten	290

5	Bauelemente der Leistungselektronik	291
	Jürgen Gutekunst	
5.1	Passive Bauelemente	292
5.1.1	Induktivitäten	292
5.1.2	Stromtransformatoren	295
5.1.3	Kondensatoren	297
5.1.4	Hochleistungswiderstände	303
5.1.5	Hochleistungsdioden	304
5.1.6	Schutzelemente	304
5.2	Aktive Bauelemente	305
5.2.1	Leistungs MOSFET	306
5.2.2	Darlingtonschaltung	307
5.2.3	IGBT	308
5.2.4	Smart Power ICs	309
5.2.5	SCR (Silicon Controlled Rectifier), Thyristor	310
5.2.6	GTO	312
5.2.7	Triac	312
5.2.8	Sicherheitsbeschaltung von Leistungshalbleitern	313
5.2.9	Spannungssteuerung eines Thyristors	314
5.3	Weiterführende Literatur	314
6	Optoelektronik	317
	Rolf Martin	
6.1	Einleitung	317
6.2	Radiometrische und fotometrische Größen	318
6.2.1	Radiometrische Größen	319
6.2.2	Fotometrische Größen	320
6.3	Halbleiter-Sender	322
6.3.1	Strahlungsemission aus Halbleitern	322
6.3.2	Lumineszenzdioden	323
6.3.3	Halbleiterlaser	332
6.4	Displays	339
6.4.1	Anthropotechnische Gesichtspunkte	339
6.4.2	Displaytypen	340
6.4.3	Analoganzeigen	345
6.4.4	Numerische Anzeigen	346
6.4.5	Alphanumerische Anzeigen	349
6.5	Halbleiter-Detektoren	349
6.5.1	Strahlungsabsorption in Halbleitern	349
6.5.2	Gütekriterien von Detektoren	351
6.5.3	Fotowiderstand	352
6.5.4	Fotodiode	355
6.5.5	Solarzelle	365
6.5.6	Wirkungsweise	365
6.5.7	Wirkungsgrad	367
6.5.8	Fototransistor	370
6.5.9	Fotothyristor	372
6.5.10	Bildsensoren	373

6.6	Optokoppler	377
6.7	Lichtwellenleiter	381
6.8	Zur Übung	386
6.9	Weiterführende Literatur	388
7	Sensoren	389
	Ekbert Hering	
7.1	Grundlagen	389
7.1.1	Definition und Einteilung	389
7.1.2	Wirtschaftliche und technische Bedeutung	389
7.2	Sensoren für die wichtigsten Messgrößen	394
7.2.1	Weg- und Positions-Sensoren	394
7.2.2	Kraft- und Druck-Sensoren	399
7.2.3	Temperatur-Sensoren	399
7.3	Werkstoffe und Technologien	402
7.3.1	Siliciumtechnik	402
7.3.2	Dünnschichttechnik	404
7.3.3	Dickschichttechnik	405
7.3.4	Faseroptische Sensoren	406
7.3.5	Chemische Sensoren	408
7.4	Bevorzugte Einsatzgebiete	410
7.5	Weiterführende Literatur	411
8	Analoge integrierte Schaltungen	413
	Julian Endres	
8.1	Herstellung und Technologie	413
8.2	Operationsverstärker	414
8.2.1	Idealer und realer Operationsverstärker	414
8.2.2	Schaltungstechnischer Aufbau	417
8.2.3	Beispiel eines Standardverstärkers	420
8.2.4	Operationsverstärker für höhere Anforderungen	423
8.2.5	Stabilitätsbetrachtung	424
8.2.6	Verstärker mit sehr kleiner Offsetspannung (Zero Drift)	427
8.2.7	Verstärker für eine Versorgungsspannung	429
8.2.8	Rail to Rail Verstärker	429
8.2.9	Sehr schnelle Operationsverstärker	431
8.2.10	Verschiedene Operationsverstärker mit besonderen Eigenschaften	432
8.3	Operationsverstärker mit statischer Beschaltung	433
8.3.1	Invertierender Spannungsverstärker	433
8.3.2	Nicht invertierender Spannungsverstärker	437
8.3.3	Subtrahierverstärker	438
8.3.4	Schmitt-Trigger	440
8.3.5	Nichtlinearer Verstärker	441
8.3.6	Addierender Verstärker, invertierend	443
8.3.7	Konstantstromquellen	444
8.3.8	Idealer Einweggleichrichter	445

- 8.3.9 Zweiweggleichrichter ohne gemeinsames Potenzial 445
 - 8.3.10 Zweiweggleichrichter mit gemeinsamem Potenzial 446
 - 8.3.11 Spitzenwertgleichrichter 446
 - 8.3.12 Logarithmierschaltung 447
 - 8.3.13 Delogarithmierschaltung (Exponentialverstärker) 449
- 8.4 Operationsverstärker mit dynamischer Beschaltung 450
 - 8.4.1 Integrator 451
 - 8.4.2 Differenzierer 454
 - 8.4.3 Filterschaltungen 456
- 8.5 Weitere wichtige integrierte Analogschaltungen 465
 - 8.5.1 Komparatoren 465
 - 8.5.2 Spannungsregler 466
 - 8.5.3 Bandabstands-Referenzelement (Bandgap Voltage Reference) 468
- 8.6 Rechnergestützte Schaltungsberechnung 472
- 8.7 Zur Übung 473
- 8.8 Weiterführende Literatur 473

9 Digital-Analog (DA)-, Analog-Digital (AD)-Wandler und digitale Filter 475

Julian Endres

- 9.1 Digital-Analog-Wandler (DA-Wandler) 475
 - 9.1.1 R-2R-Leiternetzwerk 476
 - 9.1.2 Multiplizierender DA-Wandler 476
 - 9.1.3 Vier-Quadranten multiplizierender DA-Wandler 478
 - 9.1.4 Parallel-DA-Wandler 479
 - 9.1.5 Digitale Schnittstellen der Datenwandler 480
 - 9.1.6 Unerwünschte Spitzen beim Weiterzählen des digitalen Eingangswertes 482
 - 9.1.7 Fehler bei der Datenumsetzung 484
 - 9.1.8 Delta-Sigma DA-Wandler 485
- 9.2 Analog-Digital-Wandler (AD-Wandler) 486
 - 9.2.1 Integrierende Analog-Digital-Wandler 486
 - 9.2.2 Analog-Digital-Wandler nach dem Prinzip der sukzessiven Approximation 490
 - 9.2.3 Abtast- und Halteschaltung (Sample and Hold) . 492
 - 9.2.4 Parallel-Analog-Digital-Wandler 493
 - 9.2.5 Analog-Digital-Wandler nach dem Delta-Sigma-Verfahren 495
- 9.3 Digitale Filter 499
 - 9.3.1 Grundlagen und Eigenschaften zeitdiskreter LTI-Systeme 499
 - 9.3.2 Infinite Impulse Response-Filter (IIR-Filter) . . 502
 - 9.3.3 Finite Impulse Response (FIR)-Filter 504
 - 9.3.4 Implementierung digitaler Filter 507
- 9.4 Weiterführende Literatur 511

10	Elektronische Regler	513
	Joachim Kempkes	
10.1	Steuerung und Regelung	513
10.2	Grundlagen	514
10.2.1	Aufbau des Regelkreises	515
10.2.2	Regelstrecke	515
10.2.3	Offener und geschlossener Regelkreis	522
10.2.4	Stabilität	524
10.3	Reglerentwurf	526
10.3.1	Reglertypen	526
10.3.2	Kaskadenregelung	528
10.3.3	Optimierung und Simulation	534
10.3.4	Empirische Einstellregeln	534
10.4	Zur Übung	536
10.5	Weiterführende Literatur	537
11	Grundlagen der digitalen Schaltungstechnik	539
	Jürgen Gutekunst	
11.1	Zahlensysteme	539
11.1.1	Duales Zahlensystem	540
11.1.2	Hexadezimalen Zahlensystem	541
11.1.3	BCD-Zahlensystem	544
11.1.4	Erweiterungen des binären Zahlensystems	545
11.2	Kodes	549
11.2.1	Gray-Kode	550
11.2.2	Fernschreibe-Kode	551
11.2.3	ASCII-Kode	553
11.2.4	Redundante Kodes	556
11.2.5	Fehlererkennende Kodes	556
11.2.6	Fehlerkorrigierende Kodes	558
11.3	Grundlagen der Boole'schen Algebra	561
11.3.1	Binäre Verknüpfungen	561
11.3.2	Gesetze von Boole und De Morgan	564
11.3.3	Entwicklung einer Schaltung mit Hilfe der Boole'schen Algebra	567
11.4	Minimierung nach Karnaugh-Veitch	569
11.4.1	Grundlagen	569
11.4.2	Karnaugh-Veitch-Diagramm für drei Eingangsvariable	571
11.4.3	Karnaugh-Veitch-Diagramm für vier Eingangsvariable	573
11.4.4	Karnaugh-Veitch-Diagramm für fünf Eingangsvariable	575
11.4.5	Karnaugh-Veitch-Diagramm für sechs und mehr Eingangsvariable	576
11.4.6	Beispiele zur Karnaugh-Veitch-Minimierung	578
11.5	Zur Übung	581
11.6	Weiterführende Literatur	583

12	Digitale Bauelemente	585
	Jürgen Gutekunst	
12.1	Logikfamilien	586
12.1.1	TTL	589
12.1.2	FAST	592
12.1.3	CMOS	593
12.1.4	High-Speed-CMOS	596
12.1.5	ECL	600
12.1.6	Schaltzeichen und Gehäuseformen	603
12.2	Flip Flops und Zähler	605
12.2.1	Flip Flops	605
12.2.2	Zähler	608
12.3	Speicherbauteile und Speicheraufbau	610
12.3.1	Flüchtige Speicher	611
12.3.2	Nicht flüchtige Speicher	613
12.3.3	Sonderformen von Speicherbauteilen	615
12.3.4	Aufbau großer Speichersysteme	618
12.4	Mikrorechner	618
12.4.1	Mikroprozessoren	620
12.4.2	Mikro Controller	622
12.4.3	RISC-Computer	623
12.4.4	Transputer	624
12.5	Zur Übung	626
12.6	Weiterführende Literatur	627
13	Entwicklung digitaler Schaltungen	629
	Jürgen Gutekunst	
13.1	Entwicklungsphasen	629
13.2	Pulsfahrplan	635
13.3	Leitungen für digitale Signale	638
13.3.1	Bandbegrenzung digitaler Signale	638
13.3.2	Reflexionen	640
13.4	Störfreier Entwurf digitaler Schaltungen (Glitch-Free-Design)	652
13.5	Phase Locked Loop	655
13.5.1	Grundlagen	655
13.5.2	Digitaler PLL	658
13.5.3	Tiefpass 1. Ordnung	665
13.6	Zur Übung	666
13.7	Weiterführende Literatur	668
14	ASIC	669
	Jürgen Gutekunst	
14.1	Übersicht	671
14.1.1	Digitale ASIC-Familien	671
14.1.2	Analoge ASIC	672

14.2	Programmierbare logische Bauteile (PLD)	675
14.2.1	Aufbau des PAL (Programmable Array Logic)	676
14.2.2	Realisierung einer Schaltung	681
14.2.3	Testen von PLD-Bauteilen	682
14.3	Digitale Gate-Arrays	685
14.3.1	Kanal-Gate-Array	685
14.3.2	Kanallose Gate-Arrays (Sea of Gates)	686
14.3.3	Programmierbare Gate-Arrays	687
14.4	Standard-Zellen-ASIC	691
14.4.1	Aufbau der Standard-Zellen-ASIC	693
14.4.2	Elektronenstrahl-Direkt-Schreibverfahren	694
14.4.3	Standardisierte Kundenschaltschreibe (Application Specific Standard Products, ASSP)	695
14.5	Weiterführende Literatur	696
15	Schnittstellen, Bussysteme und Netze	697
	Jürgen Gutekunst	
15.1	Grundbegriffe der Datenübertragung	698
15.1.1	Verbindung, Betrieb und Übertragung	698
15.1.2	Grundlagen zur seriellen Datenübertragung	700
15.1.3	Grundlagen zur parallelen Datenübertragung	702
15.1.4	Topologien	703
15.2	Parallele Schnittstellen	704
15.2.1	IEC-Bus	704
15.2.2	SCSI-Bus	706
15.3	Serielle Schnittstellen	709
15.3.1	TIA-232-F, V.24-Schnittstelle	709
15.3.2	I ² C -Schnittstelle	714
15.3.3	SPI-Schnittstelle	717
15.3.4	USB	718
15.3.5	Bluetooth	720
15.3.6	IO-Link	722
15.4	Bussysteme	726
15.4.1	Struktur und Arbitrierungsverfahren	726
15.4.2	Profibus	728
15.4.3	CAN-Bus	730
15.5	Netze	735
15.5.1	Einführung	735
15.5.2	Das OSI-Modell	736
15.5.3	Zugriffsverfahren bei Netzen	740
15.6	Ethernet	741
15.6.1	Einführung	742
15.6.2	Ethernet Hub und Ethernet Switch	746
15.6.3	TCP/IP	748
15.6.4	Echtzeit Ethernet-Protokolle	748
15.7	Weiterführende Literatur	754
15.7.1	Organisationen im Web:	754

16	Speicherprogrammierbare Steuerungen	755
	Rainer Hönle	
16.1	Einführung	755
16.2	Aufbau und Funktionsweise einer SPS	761
16.3	Befehle einer SPS	764
16.3.1	Basisfunktionen	765
16.3.2	Digitalfunktionen	775
16.3.3	Sprungoperationen	783
16.3.4	Programmfluss-Steuerung	784
16.4	Programmierung einer SPS	787
16.5	Kleinststeuerungen	800
16.6	Zur Übung	801
16.7	Weiterführende Literatur	802
16.8	Marken und Warenzeichen	802
17	Spannungsversorgungen	803
	Jürgen Gutekunst	
17.1	Trafonetzgeräte	803
17.1.1	Potenzialtrennung	804
17.1.2	Transformator	804
17.1.3	Transformator-Netzteil	806
17.1.4	Gleichrichter-Schaltungen	806
17.1.5	Lineare Regler	810
17.2	Spannungswandler	814
17.2.1	Prinzip der getakteten Stromversorgung	815
17.2.2	Durchflusswandler	818
17.2.3	Sperrwandler oder Inverswandler	825
17.3	Unterbrechungsfreie Stromversorgungen (USV)	826
17.3.1	Aufbau der USV	826
17.3.2	Störunterdrückung durch die USV	828
17.4	Entstörtechnik und Netzfilter	830
17.4.1	Entstörkondensatoren	830
17.4.2	Netzfilter	831
17.4.3	Dreiphasen Netzfilter	832
17.5	Zur Übung	833
17.6	Weiterführende Literatur	834
18	Lösungen der Übungsaufgaben	835
	Eckbert Hering, Julian Endres, Rolf Martin, Jürgen Gutekunst und Rainer Hönle	
18.1	Grundlagen der Elektrotechnik	835
18.2	Passive Bauelemente	837
18.3	Aktive Bauelemente	838
18.4	Hochfrequenz (HF)-Verstärker	838
18.5	Bauelemente der Leistungselektronik	839
18.6	Optoelektronik	839
18.7	Sensoren	840
18.8	Analoge integrierte Schaltungen	840

18.9	Digital-Analog- und Analog-Digital-Wandler	841
18.10	Elektronische Regler	841
18.11	Grundlagen der digitalen Schaltungstechnik	843
18.12	Digitale Bauelemente	847
18.13	Entwicklung digitaler Schaltungen	847
18.14	ASIC	851
18.15	Schnittstellen, Bussysteme und Netze	851
18.16	Speicherprogrammierbare Steuerungen	851
18.17	Spannungsversorgung	853
Stichwortverzeichnis		855