

Inhaltsverzeichnis

1	Gleichstrom	20
1.1	<i>Grundgrößen und Grundbegriffe</i>	20
1.1.1	Elektrische Ladung	20
1.1.2	Elektrischer Strom	20
1.1.3	Elektrische Spannung und Potenzial	21
1.1.4	Elektrischer Widerstand	23
1.1.5	Ohm'sches Gesetz	27
1.1.6	Elektrische Arbeit und Leistung	28
1.2	<i>Zusammengesetzte Widerstände</i>	29
1.2.1	Reihenschaltung von Widerständen und Spannungsteilung	29
1.2.2	Parallelschaltung von Widerständen und Stromteilung	30
1.2.3	Gemischte Schaltung von Widerständen	31
1.2.4	Dreieck-Stern-Umwandlung	31
1.3	<i>Stromkreise und Netzwerke</i>	32
1.3.1	Grundstromkreis	32
1.3.1.1	Darstellung mit Spannungsquelle	32
1.3.1.2	Darstellung mit Stromquelle	33
1.3.1.3	Wirkungsgrad im Grundstromkreis	34
1.3.1.4	Leistungsanpassung	35
1.3.2	Kirchhoff'sche Regeln	35
1.3.3	Berechnung von Netzwerken	36
1.3.3.1	Knotenpunkt- und Maschensatz	37
1.3.3.2	Überlagerungssatz	38
1.3.3.3	Zweipoltheorie	39
1.3.3.4	Maschenstromverfahren	40
1.3.3.5	Knotenpotenzialverfahren	41
1.3.4	Belasteter Spannungsteiler	41
1.4	<i>Messung der elektrischen Grundgrößen</i>	43
1.4.1	Messung von Spannung und Strom	43
1.4.2	Messung des Widerstandes	44
1.4.2.1	Direkte Messung	44
1.4.2.2	Wheatstone-Brücke	45
1.4.2.3	Thomson-Brücke	45
1.4.3	Messung der Leistung	46
2	Elektrische und magnetische Felder	48
2.1	<i>Elektrostatishes Feld</i>	48
2.1.1	Elektrische Feldstärke	48
2.1.2	Influenz	49
2.1.3	Verschiebungsdichte und Verschiebungsfluss	49
2.1.4	Dielektrikum	50
2.1.5	Kondensatoren	51
2.1.5.1	Kapazität	51
2.1.5.2	Schaltung von Kondensatoren	52

	2.1.5.3	Berechnung der Kapazität von Kondensatoren	54
	2.1.5.4	Geschichtetes Dielektrikum	54
	2.1.5.5	Ladung und Entladung von Kondensatoren	54
2.1.6		Kräfte im elektrischen Feld	56
2.1.7		Energie im elektrischen Feld	58
2.1.8		Piezoelektrischer Effekt	59
2.1.9		Thermoelektrischer Effekt	60
2.1.10		Lichtelektrischer Effekt	61
2.2		<i>Stationäres elektrisches Strömungsfeld</i>	62
	2.2.1	Strömungsfeld	62
	2.2.2	Stromdichte	62
	2.2.3	Stromdichte und Feldstärke	64
	2.2.4	Feldstärke und Potenzial	65
2.3		<i>Magnetisches Feld</i>	65
	2.3.1	Magnetische Feldstärke	65
	2.3.1.1	Durchflutungssatz	66
	2.3.1.2	Gesetz von Biot-Savart	69
	2.3.2	Magnetische Flussdichte	70
	2.3.3	Magnetischer Fluss und Streuung	70
	2.3.4	Permeabilität	71
	2.3.5	Magnetismus des Eisens	72
	2.3.6	Arten magnetischer Werkstoffe	74
	2.3.7	Ohm'sches Gesetz des magnetischen Kreises	76
	2.3.8	Eisengefüllte magnetische Kreise	77
	2.3.8.1	Unverzweigter magnetischer Kreis ohne Luftspalt	77
	2.3.8.2	Zusammengesetzter magnetischer Kreis	78
	2.3.8.3	Scherung der Magnetisierungskennlinie	79
	2.3.8.4	Flussdichte bei gegebener Durchflutung	80
	2.3.8.5	Verzweigter magnetischer Kreis	81
	2.3.9	Induktionsgesetz	81
	2.3.9.1	Ruhende Spule und zeitlich veränderliches Magnetfeld	81
	2.3.9.2	Ruhendes Magnetfeld und bewegter gerader Leiter	82
	2.3.9.3	Lenz'sche Regel	83
	2.3.9.4	Prinzip des Gleichstromgenerators	83
	2.3.9.5	Wirbelströme	84
	2.3.9.6	Skinneffekt	85
	2.3.10	Selbstinduktion	87
	2.3.11	Gegeninduktivität und induktive Kopplung	89
2.4		<i>Kräfte und Energie im Magnetfeld</i>	90
	2.4.1	Kraft auf eine bewegte elektrische Ladung	90
	2.4.2	Kraft auf geradlinige Stromleiter	91
	2.4.3	Kraft zwischen zwei parallelen Stromleitern	91
	2.4.4	Prinzip des Gleichstrommotors	92
	2.4.5	Energie des magnetischen Feldes	93
	2.4.5.1	Energie bei konstanter Permeabilität	93
	2.4.5.2	Energie im eisengefüllten Kreis	93
	2.4.5.3	Hysteresisarbeit	94

2.4.5.4	Zugkraft von Magneten	95
2.4.5.5	Supraleitende Magnete	95
2.4.6	Schaltvorgänge mit Induktivitäten	96
2.4.7	Hall-Effekt	98
2.4.8	Elektromagnetische Verträglichkeit	100
3	Wechselstrom	102
3.1	<i>Grundgrößen und Grundbegriffe</i>	102
3.1.1	Vorteile des Wechselstroms gegenüber Gleichstrom	102
3.1.2	Kenngrößen sinusförmiger Wechselgrößen	102
3.1.3	Zeiger- und Liniendiagramm	103
3.1.4	Addition phasenverschobener Wechselgrößen gleicher Frequenz	104
3.1.5	Mittelwerte sinusförmiger Wechselgrößen	105
3.1.6	Scheitel- und Formfaktor	107
3.2	<i>Widerstände im Wechselstromkreis</i>	109
3.2.1	Wirkwiderstand	109
3.2.2	Induktiver Widerstand	109
3.2.3	Kapazitiver Widerstand	110
3.3	<i>Komplexe Wechselgrößen</i>	111
3.3.1	Grundlagen	112
3.3.2	Arithmetik	112
3.4	<i>Schaltungen von Widerständen im Wechselstromkreis</i>	113
3.4.1	Reihenschaltungen	113
3.4.2	Parallelschaltungen	116
3.4.3	Darstellung komplexer Größen in Wechselstromkreisen	118
3.4.4	Umwandlung von Schaltungen	120
3.5	<i>Leistung und Arbeit im Wechselstromkreis</i>	122
3.5.1	Augenblicksleistung	122
3.5.2	Mittlere Leistung	123
3.5.3	Leistungsfaktor	126
3.5.4	Wirk-, Blind- und Gesamtstrom	127
3.5.5	Verbesserung des Leistungsfaktors	127
3.5.6	Leistung in komplexer Schreibweise	128
3.5.7	Messung der Wechselstromleistung	129
3.5.7.1	Messung der Wirkleistung	129
3.5.7.2	Messung der Blindleistung	130
3.5.7.3	Messung der Wirkarbeit	130
3.5.7.4	Kombinierte Messung von Wirk- und Blindleistung	132
4	Besondere Wechselstromkreise	134
4.1	<i>Zusammengesetzte Schaltungen</i>	134
4.1.1	Komplexer Spannungs- und Stromteiler	134
4.1.2	Gemischte Schaltungen	136
4.1.2.1	Parallelschaltung mit komplexen Widerständen	136
4.1.2.2	Wechselstromparadoxon	136
4.1.2.3	90°-Schaltung nach Hummel	137
4.1.2.4	RC-Kombination mit Phasendrehung um 90°	138
4.1.2.5	RC-Kombination mit Phasendrehung um 180°	139

4.2	<i>Frequenzverhalten von Wechselstromkreisen</i>	140
4.2.1	Verluste in Wechselstromkreisen	140
4.2.1.1	Verlustwinkel einer Spule	140
4.2.1.2	Verlustwinkel eines Kondensators	141
4.2.2	Reihenresonanz	142
4.2.2.1	Grundvorgang	142
4.2.2.2	Besonderheiten bei Reihenresonanz	144
4.2.2.3	Verluste bei Reihenresonanz	144
4.2.2.4	Normierte Darstellung	145
4.2.3	Parallelresonanz	146
4.2.3.1	Grundvorgang	146
4.2.3.2	Besonderheiten bei Parallelresonanz	147
4.2.3.3	Verluste bei Parallelresonanz	148
4.2.4	Übertragungsfunktion von Vierpolen	149
4.2.5	Filter	150
4.2.5.1	RC-Glied als Hochpass	150
4.2.5.2	RC-Glied als Tiefpass	151
4.2.5.3	RC-Kombination als Bandpass	152
4.3	<i>Spule mit Eisen</i>	154
4.3.1	Eisenverluste	154
4.3.2	Kupferverluste	156
4.3.3	Induktiver Spannungsabfall	156
4.3.4	Ersatzschaltbild der Spule mit Eisenkern	157
4.3.5	Drosselspule mit Gleichstromvormagnetisierung	158
4.4	<i>Transformator</i>	159
4.4.1	Arten der Transformatoren	159
4.4.2	Idealer Transformator	160
4.4.3	Realer belasteter Transformator	161
4.4.4	Grundgleichungen des Transformators in komplexer Form	162
4.4.5	T-Ersatzschaltung des Transformators	162
4.4.6	Reduzierte Ersatzschaltung	163
4.4.7	Vereinfachtes Zeigerdiagramm des Starkstromtransformators	164
4.4.8	Kapp-Diagramm	165
4.4.9	Verluste und Wirkungsgrad des Transformators	166
4.4.10	Spartransformator	167
4.5	<i>Dreiphasenstrom</i>	168
4.5.1	Erzeugung des Dreiphasenstromes	168
4.5.2	Arten der Verkettung	169
4.5.2.1	Sternschaltung	169
4.5.2.2	Dreieckschaltung	170
4.5.3	Leistung des Drehstromes	171
4.5.4	Drehstromtransformator	172
4.5.4.1	Aufbau	172
4.5.4.2	Schaltungsarten	173
4.6	<i>Inversion komplexer Wechselgrößen</i>	174
4.6.1	Inversion eines einzelnen Zeigers	174
4.6.2	Wahl des Maßstabs	176

4.6.3	Inversion von Punkten, Geraden und Kreisen	176
4.6.3.1	Punkt	176
4.6.3.2	Geraden, durch den Nullpunkt laufend	176
4.6.3.3	Geraden, parallel zu einer Achse und nicht durch den Nullpunkt laufend	177
4.6.3.4	Geraden, nicht achsenparallel und nicht durch den Nullpunkt laufend	178
4.6.3.5	Kreis, nicht durch den Nullpunkt laufend	179
4.7	Ortskurven	180
4.7.1	Definition	180
4.7.2	Maßstäbe und Maßteilungen	180
4.7.3	Ortskurven von Grundschaltungen	181
4.7.3.1	L in Reihe mit veränderlichem R	181
4.7.3.2	R und L in Reihe bei variabler Frequenz	182
4.7.3.3	Reihenresonanz bei veränderlicher Frequenz	184
4.7.3.4	Normierte Darstellung der Reihenresonanz	184
4.7.3.5	R und L parallel bei variabler Frequenz	186
4.7.4	Ortskurven gemischter Schaltungen	186
4.7.4.1	Addition eines konstanten Widerstandes	187
4.7.4.2	Nullpunktverschiebung der Ortskurve einer gemischten Schaltung	188
4.7.5	Konstruktion von Ortskurven mittels Wertetabelle	189
5	Signale und Systeme	192
5.1	Signale	192
5.1.1	Begriffsbestimmung und Übersicht	192
5.1.2	Periodische Signale mit konstanter Amplitude	192
5.1.2.1	Merkmale	192
5.1.2.2	Fourier-Reihen	194
5.1.3	Nichtperiodische Signale mit zweiseitiger Begrenzung	199
5.1.3.1	Merkmale	199
5.1.3.2	Fourier-Transformation	200
5.1.4	Nichtperiodische Signale mit einseitiger Begrenzung	204
5.1.4.1	Merkmale	204
5.1.4.2	Laplace-Transformation	205
5.2	Systeme	207
5.2.1	Begriffsbestimmung	207
5.2.2	Lineare, zeitinvariante Systeme (LTI-Systeme)	208
5.2.2.1	Systemreaktionen (Impulsantwort, Sprungantwort)	208
5.2.2.2	Berechnung von Einschaltvorgängen mit der Laplace-Transformation	209
5.2.2.3	Allgemeine Form der komplexen Übertragungsfunktion	210
5.2.2.4	Pol-Nullstellen-Plan	211
5.2.2.5	Amplituden- und Phasen-Frequenzgang	212
5.2.3	Abtastsysteme	214
5.2.3.1	Bedeutung der Abtastung für die digitale Signalverarbeitung	214

	5.2.3.2	Ideale Abstastung	214
	5.2.3.3	Abstasttheorem	216
	5.2.3.4	Bandbegrenzung	216
5.3		<i>Elemente der digitalen Signalverarbeitung</i>	218
	5.3.1	Diskrete Signale	218
	5.3.2	Zeitdiskrete Systeme	219
	5.3.3	z-Transformation	222
5.4		<i>Grundlagen digitaler Filter</i>	224
	5.4.1	Begriffsbestimmung	224
	5.4.2	FIR-Filter	225
		5.4.2.1 Einführung	225
		5.4.2.2 Fenster-Methode	227
	5.4.3	IIR-Filter	231
		5.4.3.1 Einführung	231
		5.4.3.2 Bilineare Transformation	234
		5.4.3.3 Frequenztransformationen	236
6		Bauelemente der Elektronik	238
6.1		<i>Begriffsbestimmung und Übersicht</i>	238
6.2		<i>Leiterplatten</i>	239
	6.2.1	Halbzeuge	239
	6.2.2	Entwurf und Herstellung von Leiterplatten	240
	6.2.3	Leiterplatten-Montagetechniken	242
6.3		<i>Die internationalen E-Reihen</i>	243
6.4		<i>Widerstände</i>	244
	6.4.1	Der Widerstand als Bauelement	244
	6.4.2	Festwiderstände	245
	6.4.3	Einstellwiderstände	247
6.5		<i>Kondensatoren</i>	247
	6.5.1	Kenngrößen	247
	6.5.2	Technische Kondensatoren	248
	6.5.3	Kondensatoren mit veränderbarer Kapazität	249
6.6		<i>Spulen</i>	250
	6.6.1	Kenngrößen	250
	6.6.2	Technische Spulen	250
6.7		<i>Physikalische Grundlagen der Halbleiter</i>	251
	6.7.1	Reine Halbleiter	251
	6.7.2	Dotierte Halbleiter	253
	6.7.3	pn-Übergänge	254
		6.7.3.1 Wirkprinzip	254
		6.7.3.2 Strom-Spannungs-Kennlinie des pn-Übergangs	256
		6.7.3.3 Kleinsignalverhalten des pn-Übergangs	258
		6.7.3.4 Schaltverhalten des pn-Übergangs	258
		6.7.3.5 Thermisches Verhalten des pn-Übergangs	259
		6.7.3.6 Herstellungsverfahren für pn-Übergänge	260
6.8		<i>Halbleiterdioden</i>	261
	6.8.1	Gleichrichter- und Schaltdioden	261
	6.8.2	PIN- und PSN-Dioden	262
	6.8.3	Schottky-Dioden	263

6.8.4	Heterodioden	264
6.8.5	Z-Dioden	265
6.8.6	Tunneldioden	267
6.8.7	Backwarddioden	268
6.8.8	Kapazitätsdioden	269
6.8.9	Spezielle Diodenarten	269
6.9	<i>Bipolare Transistoren</i>	270
6.9.1	Aufbau und Wirkprinzip	270
6.9.2	Grundsaltungen des Transistors	274
6.9.3	Strom-Spannungs-Kennlinie des Transistors	274
6.9.3.1	Kennlinienfelder in Emitterschaltung	274
6.9.3.2	Arbeitspunkteinstellung	276
6.9.3.3	Übersteuerungsgrenze und Sättigungsspannung	277
6.9.4	Kleinsignalverhalten des Transistors	278
6.9.5	Transistorkennwerte und -grenzwerte	281
6.9.5.1	Stromverstärkungsgruppen	281
6.9.5.2	Restströme des Transistors	281
6.9.5.3	Temperaturabhängigkeit der Kennwerte	281
6.9.6	Anwendungen bipolarer Transistoren	283
6.9.6.1	Elektronischer Schalter	283
6.9.6.2	Kleinsignalverstärker	286
6.10	<i>Feldeffekttransistoren (FET)</i>	288
6.10.1	Übersicht	288
6.10.2	Strom-Spannungs-Kennlinie	291
6.10.3	Kleinsignalverhalten	294
6.10.4	Effekte bei integrierten MOSFET	295
6.10.5	Thermisches Verhalten	296
6.10.6	Anwendungen von Feldeffekttransistoren	296
6.10.6.1	FET als elektronischer Schalter	296
6.10.6.2	Steuerbarer Widerstand	298
6.10.6.3	Kleinsignalverstärker	298
6.10.6.4	Konstantstromquellen	299
6.10.6.5	Leistungs-Feldeffekttransistoren	300
6.10.6.6	Spezielle Feldeffekttransistorarten	301
6.11	<i>Thyristorbaulemente</i>	306
6.11.1	Überblick	306
6.11.2	Einrichtungs-Thyristordiode	306
6.11.3	Zweirichtungs-Thyristordiode und Diac	307
6.11.4	Einrichtungs-Thyristortriode	309
6.11.4.1	Technologischer Aufbau	309
6.11.4.2	Wirkungsweise	309
6.11.5	Zweirichtungs-Thyristortriode	311
6.11.6	Anwendungen von Thyristor und Triac	312
6.11.6.1	Leistungsschalter für Wechsel- und Gleichstrom	312
6.11.6.2	Elektronische Lastrelais	314
6.11.6.3	Störschutz und Schutzbeschaltung	315
6.11.7	Spezielle Thyristoren	316

6.12	<i>Optoelektronische Bauelemente</i>	316
6.12.1	Übersicht	316
6.12.2	Fotometrische Beziehungen	317
6.12.3	Lichtempfindliche Fotohalbleiter	319
6.12.3.1	Fotowiderstände	319
6.12.3.2	Fotodioden	320
6.12.3.3	Fotoelemente und Solarzellen	321
6.12.3.4	Fototransistoren	322
6.12.3.5	Fotothyristoren	323
6.12.4	Lichtemittierende Fotohalbleiter	323
6.12.4.1	Lumineszenzeffekt in Halbleitern	323
6.12.4.2	Lumineszenzdioden (LED)	324
6.12.4.3	LED-Anzeigesysteme (Display-Bauelemente)	324
6.12.4.4	Halbleiter-Injektionslaser	325
6.12.5	Optoelektronische Koppellemente	325
6.12.6	Feldeffekt-Anzeigeelemente	326
6.13	<i>Halbleitersensoren</i>	326
6.13.1	Temperatursensoren	327
6.13.1.1	Heißeleiter	327
6.13.1.2	Kaltleiter	328
6.13.1.3	Thermoelemente	329
6.13.2	Drucksensoren	331
6.13.2.1	Piezoresistive Wandler	331
6.13.2.2	Piezoelektrische Wandler	332
6.13.3	Magnetfeldsensoren	333
6.13.3.1	Feldplatten	333
6.13.3.2	Hall-Generatoren	333
6.13.3.3	Reed-Kontakte	334
6.13.4	Feuchtesensoren	335
6.13.5	Gassensoren	336
6.13.6	Fotosensoren	337
6.13.7	Auswerteprozessoren und Messschaltungen für Sensoren	337
6.14	<i>Integrierte Schaltungen</i>	338
6.14.1	Übersicht	338
6.14.2	Filmschaltkreise	339
6.14.3	Festkörperschaltkreise	340
6.14.3.1	Grundlagen	340
6.14.3.2	Herstellungszyklen	340
6.14.3.3	Schaltkreistechnologien	341
6.14.3.4	Schaltkreisentwurf	345
6.14.4	Schaltkreisgehäuse	346
6.15	<i>Kühlung von Halbleiterbauelementen</i>	347
6.16	<i>Rauschen elektronischer Bauelemente</i>	349
6.16.1	Grundbeziehungen und Widerstandsrauschen	349
6.16.2	Äquivalenter Rauschwiderstand	350
6.16.3	Rauschzahl und Rauschmaß	350
6.16.4	Rauschen von Feldeffekttransistoren	350
6.16.5	Rauschen bipolarer Transistoren	351

7	Analoge Schaltungen	353
7.1	Begriffsbestimmung	353
7.2	Analysemethoden	355
7.2.1	Vierpolanalyse (Zweitoranalyse)	355
7.2.1.1	Rechnen mit Vierpolen	356
7.2.1.2	Widerstände und Übertragungsfaktoren	360
7.2.1.3	Wellenbezogene Parameter	362
7.2.2	Knotenspannungsanalyse	364
7.2.3	Computergestützte Netzwerk-Analysen	366
7.3	Aktive Grundsaltungen	368
7.3.1	Begriffsbestimmung	368
7.3.2	Gegengekoppelte Schaltungen	369
7.3.2.1	Begriff der Rückkopplung	369
7.3.2.2	Gegenkopplungsmodelle	370
7.3.2.3	Gegenkopplungseffekte	372
7.3.3	Kopplungsarten bei mehrstufigen Verstärkern	374
7.3.3.1	Grenzfrequenz bei RC-Kopplung	374
7.3.3.2	Drift bei direkter Kopplung	375
7.3.4	Differenzverstärker	377
7.3.4.1	Eigenschaften der Grundsaltung	377
7.3.4.2	Stromspiegel	379
7.3.5	Leistungsendstufen	381
7.3.5.1	Begriffsbestimmung	381
7.3.5.2	Grundsaltungen	382
7.4	Operationsverstärker	385
7.4.1	Begriffsbestimmung und Übersicht	385
7.4.2	Kenngößen	387
7.4.2.1	Statische Kenngößen	387
7.4.2.2	Offset- und Driftkenngößen	388
7.4.2.3	Dynamische Kenngößen	389
7.4.2.4	Kompensationsmaßnahmen	390
7.4.3	Grundsaltungen mit Operationsverstärkern	393
7.4.3.1	Verstärkergrundsaltungen	393
7.4.3.2	Verstärkerschaltungen mit speziellen Eigenschaften	394
7.4.3.3	Konstantstromquellen	395
7.4.3.4	Analogrechenschaltungen	396
7.4.3.5	Komparatoren	399
7.5	Filter	400
7.5.1	Übersicht	400
7.5.2	Aktive RC-Filter	401
7.5.2.1	Tiefpässe	402
7.5.2.2	Hochpässe	405
7.5.2.3	Bandpässe (Selektivfilter)	406
7.5.2.4	Hinweise zu Filtern höherer Ordnung	407
7.5.3	SC-Filter	407
7.6	Oszillatoren	408
7.6.1	Begriffsbestimmung	408
7.6.2	RC-Oszillatoren	409

7.6.3	Quarzoszillatoren	411
7.6.3.1	Elektrische Eigenschaften des Quarzes	411
7.6.3.2	Hinweise zu einfachen Oszillatoren	413
7.7	<i>Analog/Digital- und Digital/Analog-Umsetzer</i>	413
7.7.1	Analog/Digital-Umsetzer	415
7.7.1.1	Parallelverfahren	415
7.7.1.2	Wägeverfahren	416
7.7.1.3	Abtast- und Halteschaltung	418
7.7.1.4	Zählverfahren	420
7.7.1.5	Hinweise zu weiteren Umsetzverfahren	421
7.7.2	Digital/Analog-Umsetzer	423
7.7.2.1	Prinzip der Parallelumsetzung	424
7.7.2.2	Umsetzverfahren mit <i>R-2R</i> -Netzwerk	425
7.7.2.3	Analogschalter	426
8	Digitale Schaltungen	428
8.1	<i>Begriffsbestimmung</i>	428
8.2	<i>Grundlagen der Schaltalgebra</i>	430
8.2.1	Logische Funktionen	430
8.2.2	Rechenregeln	432
8.2.3	Minimierung	435
8.3	<i>Logische Grundsaltungen</i>	438
8.3.1	Logische Pegel	438
8.3.2	Integrierte Standard-Schaltkreise	439
8.3.2.1	TTL-Schaltkreise	440
8.3.2.2	CMOS-Schaltkreise	446
8.4	<i>Ausgewählte Bausteine für Schaltnetze</i>	450
8.4.1	Komparatoren	451
8.4.2	Multiplexer und Demultiplexer	452
8.4.3	Codeumsetzer	454
8.4.4	Addierer und Subtrahierer	456
8.5	<i>Elementare Kippschaltungen</i>	460
8.5.1	Begriffsbestimmung und Übersicht	460
8.5.2	Bistabile Kippschaltungen (Flipflop)	461
8.5.2.1	Ungetaktete Flipflops	462
8.5.2.2	Zustandsgesteuerte Flipflops	464
8.5.2.3	Flankengesteuerte Flipflops	466
8.5.3	Schmitt-Trigger	468
8.5.4	Monostabile Kippschaltungen	470
8.5.5	Astabile Kippschaltungen	471
8.6	<i>Komplexe Bausteine für digitale Systeme</i>	473
8.6.1	Zähler	473
8.6.1.1	Asynchronzähler	474
8.6.1.2	Synchronzähler	475
8.6.1.3	Integrierte Zähler	476
8.6.2	Frequenzteiler	478
8.6.2.1	Asynchrone Frequenzteiler	479
8.6.2.2	Synchrone Frequenzteiler	479

8.6.3	Register	481
	8.6.3.1 Begriffsbestimmung und Überblick	481
	8.6.3.2 Elementare Schieberegister	482
	8.6.3.3 Integrierte Schieberegister	483
8.7	<i>Halbleiterspeicher</i>	485
	8.7.1 Begriffsbestimmung und Übersicht	485
	8.7.2 Schreib-Lese-Speicher (RAM)	488
	8.7.2.1 Statische RAM	489
	8.7.2.2 Dynamische RAM	492
	8.7.3 Festwertspeicher (ROM)	494
	8.7.3.1 Programmierbare ROM	495
	8.7.3.2 Reprogrammierbare ROM	496
	8.7.4 Kombinierte Speicherschaltungen	500
8.8	<i>Anwenderspezifische Schaltkreise (ASIC)</i>	502
	8.8.1 Merkmale von ASIC-Strukturen	503
	8.8.2 Einfache PLD	504
	8.8.2.1 PAL-Grundstrukturen	504
	8.8.2.2 Reprogrammierbare PLD	507
	8.8.2.3 Komplexe PLD (CPLD)	509
	8.8.2.4 Feldprogrammierbare Gate Array (FPGA)	510
8.9	<i>Ergänzende Informationen</i>	513
	8.9.1 Code-Arten	513
	8.9.2 Zahlensysteme	515
	8.9.3 Schaltkreis-Listen	517
	8.9.4 Hardware-Beschreibungssprachen	518
	8.9.4.1 VHDL	519
	8.9.4.2 Verilog	521
9	Stromversorgungsschaltungen	524
9.1	<i>Grundfunktionen konventioneller Netzteile</i>	524
	9.1.1 Gleichrichtung	525
	9.1.1.1 Einweggleichrichtung	525
	9.1.1.2 Zweiweggleichrichtung	526
	9.1.1.3 Gleichrichtung mit Spannungsvervielfachung	528
	9.1.2 Glättung und Siebung	529
	9.1.2.1 Glättung mit Ladekondensator	530
	9.1.2.2 Siebung mit frequenzabhängigen Bauelementen	533
9.2	<i>Spannungsstabilisierung</i>	534
	9.2.1 Begriffsbestimmung	534
	9.2.2 Erzeugung von Referenzspannungen	535
	9.2.2.1 Diskrete Schaltungen mit Z-Dioden	535
	9.2.2.2 Integrierte Referenzspannungsquellen	537
	9.2.3 Stetige Gleichspannungsregelung	538
	9.2.3.1 Grundschtaltung aus diskreten Bauelementen	538
	9.2.3.2 Integrierte Regler mit einstellbarer Spannung	539
	9.2.3.3 Integrierte Festspannungsregler	540
	9.2.4 Unstetige Regelung mit Schaltregler	541
	9.2.4.1 Begriffsbestimmung und Übersicht	541
	9.2.4.2 Gleichspannungswandler	542

	9.2.4.3	Wandler für Netzbetrieb	547
	9.2.4.4	Integrierte Ansteuerschaltungen	551
10		Elektrische Maschinen	553
10.1		<i>Allgemeine Vorgaben</i>	553
10.1.1		Klassifikation	553
	10.1.1.1	Leistungsbereich	553
	10.1.1.2	Leistungsangaben	554
	10.1.1.3	Gliederung	555
10.1.2		Normen	557
	10.1.2.1	Bauformen und Schutzarten	557
	10.1.2.2	Betriebsarten	558
	10.1.2.3	Baugrößen	559
10.2		<i>Gleichstrommaschinen</i>	560
10.2.1		Aufbau und Wirkungsweise	560
	10.2.1.1	Bauteile	560
	10.2.1.2	Wirkungsweise	561
	10.2.1.3	Anker- und Erregerwicklung	563
10.2.2		Betriebsverhalten	564
	10.2.2.1	Ankerrückwirkung	564
	10.2.2.2	Fremderregte Gleichstrommotoren	566
	10.2.2.3	Reihenschlussmotoren	566
10.2.3		Drehzahlsteuerung	567
	10.2.3.1	Ankervorwiderstand	567
	10.2.3.2	Feldschwächung	568
	10.2.3.3	Spannungsabsenkung	569
	10.2.3.4	Stromrichterbetrieb	570
	10.2.3.5	Bremsverfahren	571
10.3		<i>Drehstrom-Asynchronmaschinen</i>	572
10.3.1		Aufbau und Wirkungsweise	572
	10.3.1.1	Bauteile	572
	10.3.1.2	Drehfeld und Drehmoment	575
10.3.2		Betriebsverhalten	576
	10.3.2.1	Ersatzschaltung und Zeigerbild	576
	10.3.2.2	Stromortskurve	578
	10.3.2.3	Drehmoment	581
10.3.3		Drehzahlsteuerung	583
	10.3.3.1	Frequenzänderung	583
	10.3.3.2	Polumschaltung	585
	10.3.3.3	Läuferwiderstände	586
	10.3.3.4	Absenken der Ständerspannung	587
	10.3.3.5	Untersynchrone Stromrichtererkaskade (USK)	588
10.3.4		Anlauf- und Bremsverfahren	589
	10.3.4.1	Anlasstechniken	589
	10.3.4.2	Bremsverfahren	592
10.3.5		Asynchronmotoren für Wechselstrombetrieb	595
	10.3.5.1	Kondensatormotoren	595
	10.3.5.2	Spaltpolmotoren	596
	10.3.5.3	Steinmetz-Schaltung für Drehstrommotoren	597

10.4	<i>Synchronmaschinen</i>	598
10.4.1	Aufbau und Wirkungsweise	599
10.4.1.1	Bauteile	599
10.4.1.2	Erregersysteme	600
10.4.1.3	Spannungsinduktion	602
10.4.2	Betriebsverhalten der Vollpolmaschine	603
10.4.2.1	Inselbetrieb	603
10.4.2.2	Stoß- und Dauerkurzschlosstrom	606
10.4.2.3	Netzbetrieb	606
10.4.3	Spezielle Bauformen und Betriebsarten	611
10.4.3.1	Schenkelpolmaschinen	611
10.4.3.2	Stromrichter gespeiste Synchronmaschinen	615
10.4.3.3	Dauermagneterregte Servomotoren	616
10.4.3.4	Linearmotoren	618
10.5	<i>Kleinmaschinen</i>	621
10.5.1	Batterieversorgte Gleichstrommaschinen	622
10.5.2	Universalmotoren	623
10.5.3	Schrittmotoren	627
10.5.4	Elektronikmotor	630
Matlab-Programme		632
Abkürzungsverzeichnis zur Elektronik		634
Formelzeichenverzeichnis		638
Literaturverzeichnis		645
Sachwortverzeichnis		654