

Inhaltsverzeichnis

1	Gleichstrom	21
1.1	<i>Grundgrößen und Grundbegriffe</i>	21
1.1.1	Elektrische Ladung	21
1.1.2	Elektrischer Strom	21
1.1.3	Elektrische Spannung und Potenzial	22
1.1.4	Elektrischer Widerstand	24
1.1.5	Ohm'sches Gesetz	28
1.1.6	Elektrische Arbeit und Leistung	29
1.2	<i>Zusammengesetzte Widerstände</i>	30
1.2.1	Reihenschaltung von Widerständen und Spannungsteilung	30
1.2.2	Parallelschaltung von Widerständen und Stromteilung	31
1.2.3	Gemischte Schaltung von Widerständen	32
1.2.4	Dreieck-Stern-Umwandlung	32
1.3	<i>Stromkreise und Netzwerke</i>	33
1.3.1	Grundstromkreis	33
1.3.1.1	Darstellung mit Spannungsquelle	33
1.3.1.2	Darstellung mit Stromquelle	34
1.3.1.3	Wirkungsgrad im Grundstromkreis	35
1.3.1.4	Leistungsanpassung	36
1.3.2	Kirchhoff'sche Regeln	36
1.3.3	Berechnung von Netzwerken	37
1.3.3.1	Knotenpunkt- und Maschensatz	38
1.3.3.2	Überlagerungssatz	39
1.3.3.3	Zweipoltheorie	40
1.3.3.4	Maschenstromverfahren	41
1.3.3.5	Knotenpotenzialverfahren	42
1.3.4	Belasteter Spannungsteiler	42
1.4	<i>Messung der elektrischen Grundgrößen</i>	44
1.4.1	Messung von Spannung und Strom	44
1.4.2	Messung des Widerstandes	45
1.4.2.1	Direkte Messung	45
1.4.2.2	Wheatstone-Brücke	46
1.4.2.3	Thomson-Brücke	46
1.4.3	Messung der Leistung	47
2	Elektrische und magnetische Felder	49
2.1	<i>Elektrostatiches Feld</i>	49
2.1.1	Elektrische Feldstärke	49
2.1.2	Influenz	50
2.1.3	Verschiebungsdichte und Verschiebungsfluss	50
2.1.4	Dielektrikum	51
2.1.5	Kondensatoren	52
2.1.5.1	Kapazität	52
2.1.5.2	Schaltung von Kondensatoren	53

	2.1.5.3	Berechnung der Kapazität von Kondensatoren	55
	2.1.5.4	Geschichtetes Dielektrikum	55
	2.1.5.5	Ladung und Entladung von Kondensatoren	55
	2.1.6	Kräfte im elektrischen Feld	57
	2.1.7	Energie im elektrischen Feld	59
	2.1.8	Piezoelektrischer Effekt	60
	2.1.9	Thermoelektrischer Effekt	61
	2.1.10	Lichtelektrischer Effekt	62
2.2		<i>Stationäres elektrisches Strömungsfeld</i>	63
	2.2.1	Strömungsfeld	63
	2.2.2	Stromdichte	63
	2.2.3	Stromdichte und Feldstärke	65
	2.2.4	Feldstärke und Potenzial	66
2.3		<i>Magnetisches Feld</i>	66
	2.3.1	Magnetische Feldstärke	66
		2.3.1.1 Durchflutungssatz	67
		2.3.1.2 Gesetz von Biot-Savart	70
	2.3.2	Magnetische Flussdichte	71
	2.3.3	Magnetischer Fluss und Streuung	71
	2.3.4	Permeabilität	72
	2.3.5	Magnetismus des Eisens	73
	2.3.6	Arten magnetischer Werkstoffe	75
	2.3.7	Ohm'sches Gesetz des magnetischen Kreises	77
	2.3.8	Eisengefüllte magnetische Kreise	78
		2.3.8.1 Unverzweigter magnetischer Kreis ohne Luftspalt	78
		2.3.8.2 Zusammengesetzter magnetischer Kreis	79
		2.3.8.3 Scherung der Magnetisierungskennlinie	80
		2.3.8.4 Flussdichte bei gegebener Durchflutung	81
		2.3.8.5 Verzweigter magnetischer Kreis	82
	2.3.9	Induktionsgesetz	82
		2.3.9.1 Ruhende Spule und zeitlich veränderliches Magnetfeld	82
		2.3.9.2 Ruhendes Magnetfeld und bewegter gerader Leiter	83
		2.3.9.3 Lenz'sche Regel	84
		2.3.9.4 Prinzip des Gleichstromgenerators	84
		2.3.9.5 Wirbelströme	85
		2.3.9.6 Skineffekt	86
	2.3.10	Selbstinduktion	88
	2.3.11	Gegeninduktivität und induktive Kopplung	90
2.4		<i>Kräfte und Energie im Magnetfeld</i>	91
	2.4.1	Kraft auf eine bewegte elektrische Ladung	91
	2.4.2	Kraft auf geradlinige Stromleiter	92
	2.4.3	Kraft zwischen zwei parallelen Stromleitern	92
	2.4.4	Prinzip des Gleichstrommotors	93
	2.4.5	Energie des magnetischen Feldes	94
		2.4.5.1 Energie bei konstanter Permeabilität	94
		2.4.5.2 Energie im eisengefüllten Kreis	94
		2.4.5.3 Hysteresisarbeit	95

2.4.5.4	Zugkraft von Magneten	96
2.4.5.5	Supraleitende Magnete	96
2.4.6	Schaltvorgänge mit Induktivitäten	97
2.4.7	Hall-Effekt	99
2.4.8	Elektromagnetische Verträglichkeit	101
3	Wechselstrom	103
3.1	<i>Grundgrößen und Grundbegriffe</i>	103
3.1.1	Vorteile des Wechselstroms gegenüber Gleichstrom	103
3.1.2	Kenngrößen sinusförmiger Wechselgrößen	103
3.1.3	Zeiger- und Liniendiagramm	104
3.1.4	Addition phasenverschobener Wechselgrößen gleicher Frequenz	105
3.1.5	Mittelwerte sinusförmiger Wechselgrößen	106
3.1.6	Scheitel- und Formfaktor	108
3.2	<i>Widerstände im Wechselstromkreis</i>	110
3.2.1	Wirkwiderstand	110
3.2.2	Induktiver Widerstand	110
3.2.3	Kapazitiver Widerstand	111
3.3	<i>Komplexe Wechselgrößen</i>	112
3.3.1	Grundlagen	113
3.3.2	Arithmetik	113
3.4	<i>Schaltungen von Widerständen im Wechselstromkreis</i>	114
3.4.1	Reihenschaltungen	114
3.4.2	Parallelschaltungen	117
3.4.3	Darstellung komplexer Größen in Wechselstromkreisen	119
3.4.4	Umwandlung von Schaltungen	121
3.5	<i>Leistung und Arbeit im Wechselstromkreis</i>	123
3.5.1	Augenblicksleistung	123
3.5.2	Mittlere Leistung	124
3.5.3	Leistungsfaktor	127
3.5.4	Wirk-, Blind- und Gesamtstrom	128
3.5.5	Verbesserung des Leistungsfaktors	128
3.5.6	Leistung in komplexer Schreibweise	129
3.5.7	Messung der Wechselstromleistung	130
3.5.7.1	Messung der Wirkleistung	130
3.5.7.2	Messung der Blindleistung	131
3.5.7.3	Messung der Wirkarbeit	131
3.5.7.4	Kombinierte Messung von Wirk- und Blindleistung	133
4	Besondere Wechselstromkreise	135
4.1	<i>Zusammengesetzte Schaltungen</i>	135
4.1.1	Komplexer Spannungs- und Stromteiler	135
4.1.2	Gemischte Schaltungen	137
4.1.2.1	Parallelschaltung mit komplexen Widerständen	137
4.1.2.2	Wechselstromparadoxon	137
4.1.2.3	90°-Schaltung nach Hummel	138
4.1.2.4	RC-Kombination mit Phasendrehung um 90°	139
4.1.2.5	RC-Kombination mit Phasendrehung um 180°	140

4.2	<i>Frequenzverhalten von Wechselstromkreisen</i>	141
4.2.1	Verluste in Wechselstromkreisen	141
4.2.1.1	Verlustwinkel einer Spule	141
4.2.1.2	Verlustwinkel eines Kondensators	142
4.2.2	Reihenresonanz	143
4.2.2.1	Grundvorgang	143
4.2.2.2	Besonderheiten bei Reihenresonanz	145
4.2.2.3	Verluste bei Reihenresonanz	145
4.2.2.4	Normierte Darstellung	146
4.2.3	Parallelresonanz	147
4.2.3.1	Grundvorgang	147
4.2.3.2	Besonderheiten bei Parallelresonanz	148
4.2.3.3	Verluste bei Parallelresonanz	149
4.2.4	Übertragungsfunktion von Vierpolen	150
4.2.5	Filter	151
4.2.5.1	RC-Glied als Hochpass	151
4.2.5.2	RC-Glied als Tiefpass	152
4.2.5.3	RC-Kombination als Bandpass	153
4.3	<i>Spule mit Eisen</i>	155
4.3.1	Eisenverluste	155
4.3.2	Kupferverluste	157
4.3.3	Induktiver Spannungsabfall	157
4.3.4	Ersatzschaltbild der Spule mit Eisenkern	158
4.3.5	Drosselspule mit Gleichstromvormagnetisierung	159
4.4	<i>Transformator</i>	160
4.4.1	Arten der Transformatoren	160
4.4.2	Idealer Transformator	161
4.4.3	Realer belasteter Transformator	162
4.4.4	Grundgleichungen des Transformators in komplexer Form	163
4.4.5	T-Ersatzschaltung des Transformators	163
4.4.6	Reduzierte Ersatzschaltung	164
4.4.7	Vereinfachtes Zeigerdiagramm des Starkstromtransformators	165
4.4.8	Kapp-Diagramm	166
4.4.9	Verluste und Wirkungsgrad des Transformators	167
4.4.10	Spartransformator	168
4.5	<i>Dreiphasenstrom</i>	169
4.5.1	Erzeugung des Dreiphasenstromes	169
4.5.2	Arten der Verkettung	170
4.5.2.1	Sternschaltung	170
4.5.2.2	Dreieckschaltung	171
4.5.3	Leistung des Drehstromes	172
4.5.4	Drehstromtransformator	173
4.5.4.1	Aufbau	173
4.5.4.2	Schaltungsarten	174
4.6	<i>Inversion komplexer Wechselgrößen</i>	175
4.6.1	Inversion eines einzelnen Zeigers	175
4.6.2	Wahl des Maßstabs	177

4.6.3	Inversion von Punkten, Geraden und Kreisen	177
4.6.3.1	Punkt	177
4.6.3.2	Geraden, durch den Nullpunkt laufend	177
4.6.3.3	Geraden, parallel zu einer Achse und nicht durch den Nullpunkt laufend	178
4.6.3.4	Geraden, nicht achsenparallel und nicht durch den Nullpunkt laufend	179
4.6.3.5	Kreis, nicht durch den Nullpunkt laufend	180
4.7	<i>Ortskurven</i>	181
4.7.1	Definition	181
4.7.2	Maßstäbe und Maßteilungen	181
4.7.3	Ortskurven von Grundschaltungen	182
4.7.3.1	L in Reihe mit veränderlichem R	182
4.7.3.2	R und L in Reihe bei variabler Frequenz	183
4.7.3.3	Reihenresonanz bei veränderlicher Frequenz	185
4.7.3.4	Normierte Darstellung der Reihenresonanz	185
4.7.3.5	R und L parallel bei variabler Frequenz	187
4.7.4	Ortskurven gemischter Schaltungen	187
4.7.4.1	Addition eines konstanten Widerstandes	188
4.7.4.2	Nullpunktverschiebung der Ortskurve einer gemisch- ten Schaltung	189
4.7.5	Konstruktion von Ortskurven mittels Wertetabelle	190
5	Signale und Systeme	193
5.1	<i>Signale</i>	193
5.1.1	Begriffsbestimmung und Übersicht	193
5.1.2	Periodische Signale mit konstanter Amplitude	193
5.1.2.1	Merkmale	193
5.1.2.2	Fourier-Reihen	195
5.1.3	Nichtperiodische Signale mit zweiseitiger Begrenzung	200
5.1.3.1	Merkmale	200
5.1.3.2	Fourier-Transformation	201
5.1.4	Nichtperiodische Signale mit einseitiger Begrenzung	205
5.1.4.1	Merkmale	205
5.1.4.2	Laplace-Transformation	206
5.2	<i>Systeme</i>	208
5.2.1	Begriffsbestimmung	208
5.2.2	Lineare, zeitinvariante Systeme (LTI-Systeme)	209
5.2.2.1	Systemreaktionen (Impulsantwort, Sprungantwort)	209
5.2.2.2	Berechnung von Einschaltvorgängen mit der Laplace- Transformation	210
5.2.2.3	Allgemeine Form der komplexen Übertragungsfunk- tion	211
5.2.2.4	Pol-Nullstellen-Plan	212
5.2.2.5	Amplituden- und Phasen-Frequenzgang	213
5.2.3	Abtastsysteme	215
5.2.3.1	Bedeutung der Abtastung für die digitale Signalverar- beitung	215

	5.2.3.2	Ideale Abtastung	215
	5.2.3.3	Abtasttheorem	217
	5.2.3.4	Bandbegrenzung	217
5.3		<i>Elemente der digitalen Signalverarbeitung</i>	219
	5.3.1	Diskrete Signale	219
	5.3.2	Zeitdiskrete Systeme	220
	5.3.3	z -Transformation	223
5.4		<i>Grundlagen digitaler Filter</i>	225
	5.4.1	Begriffsbestimmung	225
	5.4.2	FIR-Filter	226
		5.4.2.1 Einführung	226
		5.4.2.2 Fenster-Methode	228
	5.4.3	IIR-Filter	232
		5.4.3.1 Einführung	232
		5.4.3.2 Bilineare Transformation	235
		5.4.3.3 Frequenztransformationen	237
6		Bauelemente der Elektronik	239
6.1		<i>Begriffsbestimmung und Übersicht</i>	239
6.2		<i>Leiterplatten</i>	240
	6.2.1	Halbzeuge	240
	6.2.2	Entwurf und Herstellung von Leiterplatten	241
	6.2.3	Leiterplatten-Montagetechniken	243
6.3		<i>Die internationalen E-Reihen</i>	244
6.4		<i>Widerstände</i>	245
	6.4.1	Der Widerstand als Bauelement	245
	6.4.2	Festwiderstände	246
	6.4.3	Einstellwiderstände	248
6.5		<i>Kondensatoren</i>	248
	6.5.1	Kenngößen	248
	6.5.2	Technische Kondensatoren	249
	6.5.3	Kondensatoren mit veränderbarer Kapazität	250
6.6		<i>Spulen</i>	251
	6.6.1	Kenngößen	251
	6.6.2	Technische Spulen	251
6.7		<i>Physikalische Grundlagen der Halbleiter</i>	252
	6.7.1	Reine Halbleiter	252
	6.7.2	Dotierte Halbleiter	254
	6.7.3	pn-Übergänge	255
		6.7.3.1 Wirkprinzip	255
		6.7.3.2 Strom-Spannungs-Kennlinie des pn-Übergangs	257
		6.7.3.3 Kleinsignalverhalten des pn-Übergangs	259
		6.7.3.4 Schaltverhalten des pn-Übergangs	259
		6.7.3.5 Thermisches Verhalten des pn-Übergangs	260
		6.7.3.6 Herstellungsverfahren für pn-Übergänge	261
6.8		<i>Halbleiterdioden</i>	262
	6.8.1	Gleichrichter- und Schaltdioden	262
	6.8.2	PIN- und PSN-Dioden	263
	6.8.3	Schottky-Dioden	264

6.8.4	Heterodioden	265
6.8.5	Z-Dioden	266
6.8.6	Tunneldioden	268
6.8.7	Backwarddioden	269
6.8.8	Kapazitätsdioden	270
6.8.9	Spezielle Diodenarten	270
6.9	<i>Bipolare Transistoren</i>	271
6.9.1	Aufbau und Wirkprinzip	271
6.9.2	Grundsaltungen des Transistors	275
6.9.3	Strom-Spannungs-Kennlinie des Transistors	275
6.9.3.1	Kennlinienfelder in Emitterschaltung	275
6.9.3.2	Arbeitspunkteinstellung	277
6.9.3.3	Übersteuerungsgrenze und Sättigungsspannung	278
6.9.4	Kleinsignalverhalten des Transistors	279
6.9.5	Transistorkennwerte und -grenzwerte	282
6.9.5.1	Stromverstärkungsgruppen	282
6.9.5.2	Restströme des Transistors	282
6.9.5.3	Temperaturabhängigkeit der Kennwerte	282
6.9.6	Anwendungen bipolarer Transistoren	284
6.9.6.1	Elektronischer Schalter	284
6.9.6.2	Kleinsignalverstärker	287
6.10	<i>Feldeffekttransistoren (FET)</i>	289
6.10.1	Übersicht	289
6.10.2	Strom-Spannungs-Kennlinie	292
6.10.3	Kleinsignalverhalten	295
6.10.4	Effekte bei integrierten MOSFET	296
6.10.5	Thermisches Verhalten	297
6.10.6	Anwendungen von Feldeffekttransistoren	297
6.10.6.1	FET als elektronischer Schalter	297
6.10.6.2	Steuerbarer Widerstand	299
6.10.6.3	Kleinsignalverstärker	299
6.10.6.4	Konstantstromquellen	300
6.10.6.5	Leistungs-Feldeffekttransistoren	301
6.10.6.6	Spezielle Feldeffekttransistorarten	302
6.11	<i>Thyristorbauelemente</i>	307
6.11.1	Überblick	307
6.11.2	Einrichtungs-Thyristordiode	307
6.11.3	Zwei richtungs-Thyristordiode und Diac	308
6.11.4	Einrichtungs-Thyristortriode	310
6.11.4.1	Technologischer Aufbau	310
6.11.4.2	Wirkungsweise	310
6.11.5	Zwei richtungs-Thyristortriode	312
6.11.6	Anwendungen von Thyristor und Triac	313
6.11.6.1	Leistungsschalter für Wechsel- und Gleichstrom	313
6.11.6.2	Elektronische Lastrelais	315
6.11.6.3	Störschutz und Schutzbeschaltung	316
6.11.7	Spezielle Thyristoren	317

6.12	<i>Optoelektronische Bauelemente</i>	317
6.12.1	Übersicht	317
6.12.2	Fotometrische Beziehungen	318
6.12.3	Lichtempfindliche Fotohalbleiter	320
6.12.3.1	Fotowiderstände	320
6.12.3.2	Fotodioden	321
6.12.3.3	Fotoelemente und Solarzellen	322
6.12.3.4	Fototransistoren	323
6.12.3.5	Fotothyristoren	324
6.12.4	Lichtemittierende Fotohalbleiter	324
6.12.4.1	Lumineszenzeffekt in Halbleitern	324
6.12.4.2	Lumineszenzdioden (LED)	325
6.12.4.3	LED-Anzeigesysteme (Display-Bauelemente)	325
6.12.4.4	Halbleiter-Injektionslaser	326
6.12.5	Optoelektronische Koppellemente	326
6.12.6	Feldeffekt-Anzeigeelemente	327
6.13	<i>Halbleitersensoren</i>	327
6.13.1	Temperatursensoren	328
6.13.1.1	Heißeleiter	328
6.13.1.2	Kaltleiter	329
6.13.1.3	Thermoelemente	330
6.13.2	Drucksensoren	332
6.13.2.1	Piezoresistive Wandler	332
6.13.2.2	Piezoelektrische Wandler	333
6.13.3	Magnetfeldsensoren	334
6.13.3.1	Feldplatten	334
6.13.3.2	Hall-Generatoren	334
6.13.3.3	Reed-Kontakte	335
6.13.4	Feuchtesensoren	336
6.13.5	Gassensoren	337
6.13.6	Fotosensoren	338
6.13.7	Auswerteprinzipien und Messschaltungen für Sensoren	338
6.14	<i>Integrierte Schaltungen</i>	339
6.14.1	Übersicht	339
6.14.2	Filmschaltkreise	340
6.14.3	Festkörperschaltkreise	341
6.14.3.1	Grundlagen	341
6.14.3.2	Herstellungszyklen	341
6.14.3.3	Schaltkreistechnologien	342
6.14.3.4	Schaltkreisentwurf	346
6.14.4	Schaltkreisgehäuse	347
6.15	<i>Kühlung von Halbleiterbauelementen</i>	348
6.16	<i>Rauschen elektronischer Bauelemente</i>	350
6.16.1	Grundbeziehungen und Widerstandsrauschen	350
6.16.2	Äquivalenter Rauschwiderstand	351
6.16.3	Rauschzahl und Rauschmaß	351
6.16.4	Rauschen von Feldeffekttransistoren	351
6.16.5	Rauschen bipolarer Transistoren	352

7	Analoge Schaltungen	354
7.1	Begriffsbestimmung	354
7.2	Analysmethoden	356
7.2.1	Vierpolanalyse (Zweitoranalyse)	356
7.2.1.1	Rechnen mit Vierpolen	357
7.2.1.2	Widerstände und Übertragungsfaktoren	361
7.2.1.3	Wellenbezogene Parameter	363
7.2.2	Knotenspannungsanalyse	365
7.2.3	Computergestützte Netzwerk-Analysen	367
7.3	Aktive Grundsaltungen	369
7.3.1	Begriffsbestimmung	369
7.3.2	Gegengekoppelte Schaltungen	370
7.3.2.1	Begriff der Rückkopplung	370
7.3.2.2	Gegenkopplungsmodelle	371
7.3.2.3	Gegenkopplungseffekte	373
7.3.3	Kopplungsarten bei mehrstufigen Verstärkern	375
7.3.3.1	Grenzfrequenz bei RC-Kopplung	375
7.3.3.2	Drift bei direkter Kopplung	376
7.3.4	Differenzverstärker	378
7.3.4.1	Eigenschaften der Grundsaltung	378
7.3.4.2	Stromspiegel	380
7.3.5	Leistungsendstufen	382
7.3.5.1	Begriffsbestimmung	382
7.3.5.2	Grundsaltungen	383
7.4	Operationsverstärker	386
7.4.1	Begriffsbestimmung und Übersicht	386
7.4.2	Kenngößen	388
7.4.2.1	Statische Kenngößen	388
7.4.2.2	Offset- und Driftkenngößen	389
7.4.2.3	Dynamische Kenngößen	390
7.4.2.4	Kompensationsmaßnahmen	391
7.4.3	Grundsaltungen mit Operationsverstärkern	394
7.4.3.1	Verstärkergrundsaltungen	394
7.4.3.2	Verstärkerschaltungen mit speziellen Eigenschaften	395
7.4.3.3	Konstantstromquellen	396
7.4.3.4	Analogrechenschaltungen	397
7.4.3.5	Komparatoren	400
7.5	Filter	401
7.5.1	Übersicht	401
7.5.2	Aktive RC-Filter	402
7.5.2.1	Tiefpässe	403
7.5.2.2	Hochpässe	406
7.5.2.3	Bandpässe (Selektivfilter)	407
7.5.2.4	Hinweise zu Filtern höherer Ordnung	408
7.5.3	SC-Filter	408
7.6	Oszillatoren	409
7.6.1	Begriffsbestimmung	409
7.6.2	RC-Oszillatoren	410

7.6.3	Quarzoszillatoren	412
7.6.3.1	Elektrische Eigenschaften des Quarzes	412
7.6.3.2	Hinweise zu einfachen Oszillatoren	414
7.7	<i>Analog/Digital- und Digital/Analog-Umsetzer</i>	414
7.7.1	Analog/Digital-Umsetzer	416
7.7.1.1	Parallelverfahren	416
7.7.1.2	Wägeverfahren	417
7.7.1.3	Abtast- und Halteschaltung	419
7.7.1.4	Zählverfahren	421
7.7.1.5	Hinweise zu weiteren Umsetzverfahren	422
7.7.2	Digital/Analog-Umsetzer	424
7.7.2.1	Prinzip der Parallelumsetzung	425
7.7.2.2	Umsetzverfahren mit R-2R-Netzwerk	426
7.7.2.3	Analogschalter	427
8	Digitale Schaltungen	429
8.1	<i>Begriffsbestimmung</i>	429
8.2	<i>Grundlagen der Schaltalgebra</i>	431
8.2.1	Logische Funktionen	431
8.2.2	Rechenregeln	433
8.2.3	Minimierung	436
8.3	<i>Logische Grundschaltungen</i>	439
8.3.1	Logische Pegel	439
8.3.2	Integrierte Standard-Schaltkreise	440
8.3.2.1	TTL-Schaltkreise	441
8.3.2.2	CMOS-Schaltkreise	447
8.4	<i>Ausgewählte Bausteine für Schaltnetze</i>	451
8.4.1	Komparatoren	452
8.4.2	Multiplexer und Demultiplexer	453
8.4.3	Codeumsetzer	455
8.4.4	Addierer und Subtrahierer	457
8.5	<i>Elementare Kippschaltungen</i>	461
8.5.1	Begriffsbestimmung und Übersicht	461
8.5.2	Bistabile Kippschaltungen (Flipflop)	462
8.5.2.1	Ungetaktete Flipflops	463
8.5.2.2	Zustandsgesteuerte Flipflops	465
8.5.2.3	Flankengesteuerte Flipflops	467
8.5.3	Schmitt-Trigger	469
8.5.4	Monostabile Kippschaltungen	471
8.5.5	Astabile Kippschaltungen	472
8.6	<i>Komplexe Bausteine für digitale Systeme</i>	474
8.6.1	Zähler	474
8.6.1.1	Asynchrone Zähler	475
8.6.1.2	Synchrone Zähler	476
8.6.1.3	Integrierte Zähler	477
8.6.2	Frequenzteiler	479
8.6.2.1	Asynchrone Frequenzteiler	480
8.6.2.2	Synchrone Frequenzteiler	480

8.6.3	Register	482
8.6.3.1	Begriffsbestimmung und Überblick	482
8.6.3.2	Elementare Schieberegister	483
8.6.3.3	Integrierte Schieberegister	484
8.7	<i>Halbleiterspeicher</i>	486
8.7.1	Begriffsbestimmung und Übersicht	486
8.7.2	Schreib-Lese-Speicher (RAM)	489
8.7.2.1	Statische RAM	490
8.7.2.2	Dynamische RAM	493
8.7.3	Festwertspeicher (ROM)	495
8.7.3.1	Programmierbare ROM	496
8.7.3.2	Reprogrammierbare ROM	497
8.7.4	Kombinierte Speicherschaltungen	501
8.8	<i>Anwenderspezifische Schaltkreise (ASIC)</i>	503
8.8.1	Merkmale von ASIC-Strukturen	504
8.8.2	Einfache PLD	505
8.8.2.1	PAL-Grundstrukturen	505
8.8.2.2	Reprogrammierbare PLD	508
8.8.2.3	Komplexe PLD (CPLD)	510
8.8.2.4	Feldprogrammierbare Gate Array (FPGA)	511
8.9	<i>Ergänzende Informationen</i>	514
8.9.1	Code-Arten	514
8.9.2	Zahlensysteme	516
8.9.3	Schaltkreis-Listen	518
8.9.4	Hardware-Beschreibungssprachen	519
8.9.4.1	VHDL	520
8.9.4.2	Verilog	522
9	Stromversorgungsschaltungen	525
9.1	<i>Grundfunktionen konventioneller Netzteile</i>	525
9.1.1	Gleichrichtung	526
9.1.1.1	Einweggleichrichtung	526
9.1.1.2	Zweiweggleichrichtung	527
9.1.1.3	Gleichrichtung mit Spannungsvervielfachung	529
9.1.2	Glättung und Siebung	530
9.1.2.1	Glättung mit Ladekondensator	531
9.1.2.2	Siebung mit frequenzabhängigen Bauelementen	534
9.2	<i>Spannungsstabilisierung</i>	535
9.2.1	Begriffsbestimmung	535
9.2.2	Erzeugung von Referenzspannungen	536
9.2.2.1	Diskrete Schaltungen mit Z-Dioden	536
9.2.2.2	Integrierte Referenzspannungsquellen	538
9.2.3	Stetige Gleichspannungsregelung	539
9.2.3.1	Grundschaltung aus diskreten Bauelementen	539
9.2.3.2	Integrierte Regler mit einstellbarer Spannung	540
9.2.3.3	Integrierte Festspannungsregler	541
9.2.4	Unstetige Regelung mit Schaltregler	542
9.2.4.1	Begriffsbestimmung und Übersicht	542
9.2.4.2	Gleichspannungswandler	543

	9.2.4.3	Wandler für Netzbetrieb	548
	9.2.4.4	Integrierte Ansteuerschaltungen	552
10		Elektrische Maschinen	554
10.1		<i>Allgemeine Vorgaben</i>	554
	10.1.1	Klassifikation	554
		10.1.1.1 Leistungsbereich	554
		10.1.1.2 Leistungsangaben	555
		10.1.1.3 Gliederung	556
	10.1.2	Normen	558
		10.1.2.1 Bauformen und Schutzarten	558
		10.1.2.2 Betriebsarten	559
		10.1.2.3 Baugrößen	560
10.2		<i>Gleichstrommaschinen</i>	561
	10.2.1	Aufbau und Wirkungsweise	561
		10.2.1.1 Bauteile	561
		10.2.1.2 Wirkungsweise	562
		10.2.1.3 Anker- und Erregerwicklung	564
	10.2.2	Betriebsverhalten	565
		10.2.2.1 Ankerrückwirkung	565
		10.2.2.2 Fremderregte Gleichstrommotoren	567
		10.2.2.3 Reihenschlussmotoren	567
	10.2.3	Drehzahlsteuerung	568
		10.2.3.1 Ankervorwiderstand	568
		10.2.3.2 Feldschwächung	569
		10.2.3.3 Spannungsabsenkung	570
		10.2.3.4 Stromrichterbetrieb	571
		10.2.3.5 Bremsverfahren	572
10.3		<i>Drehstrom-Asynchronmaschinen</i>	573
	10.3.1	Aufbau und Wirkungsweise	573
		10.3.1.1 Bauteile	573
		10.3.1.2 Drehfeld und Drehmoment	576
	10.3.2	Betriebsverhalten	577
		10.3.2.1 Ersatzschaltung und Zeigerbild	577
		10.3.2.2 Stromortskurve	579
		10.3.2.3 Drehmoment	582
	10.3.3	Drehzahlsteuerung	584
		10.3.3.1 Frequenzänderung	584
		10.3.3.2 Polumschaltung	586
		10.3.3.3 Läuferwiderstände	587
		10.3.3.4 Absenken der Ständerspannung	588
		10.3.3.5 Untersynchrone Stromrichtererkaskade (USK)	589
	10.3.4	Anlauf- und Bremsverfahren	590
		10.3.4.1 Anlasstechniken	590
		10.3.4.2 Bremsverfahren	593
	10.3.5	Asynchronmotoren für Wechselstrombetrieb	596
		10.3.5.1 Kondensatormotoren	596
		10.3.5.2 Spaltpolmotoren	597
		10.3.5.3 Steinmetz-Schaltung für Drehstrommotoren	598

10.4	<i>Synchronmaschinen</i>	599
10.4.1	Aufbau und Wirkungsweise	600
10.4.1.1	Bauteile	600
10.4.1.2	Erregersysteme	601
10.4.1.3	Spannungsinduktion	603
10.4.2	Betriebsverhalten der Vollpolmaschine	604
10.4.2.1	Inselbetrieb	604
10.4.2.2	Stoß- und Dauerkurzschlussstrom	607
10.4.2.3	Netzbetrieb	607
10.4.3	Spezielle Bauformen und Betriebsarten	612
10.4.3.1	Schenkelpolmaschinen	612
10.4.3.2	Stromrichter gespeiste Synchronmaschinen	616
10.4.3.3	Dauermagneterregte Servomotoren (E-Auto)	617
10.4.3.4	Linearmotoren	619
10.5	<i>Kleinmaschinen</i>	622
10.5.1	Batterieversorgte Gleichstrommaschinen	623
10.5.2	Universalmotoren	624
10.5.3	Schrittmotoren	628
10.5.4	Elektronikmotor	631
Matlab-Programme		633
Abkürzungsverzeichnis zur Elektronik		635
Formelzeichenverzeichnis		639
Literaturverzeichnis		647
Sachwortverzeichnis		657