

1	Gleichstrom	1
2	Elektrische Felder	39
3	Wechselstrom	105
4	Elektrische Maschinen	176
5	Messung von Strom, Spannung, Leistung	223
6	Netzwerke bei veränderlicher Frequenz	260
7	Signale und Systeme	277
8	Analoge Schaltungstechnik	355
9	Digitaltechnik	486
10	Stromversorgungen	563
A	Mathematische Grundlagen	610
B	Tabellen	627
C	Elemente der Installationstechnik	666
D	Abkürzungsverzeichnis	676
E	Schaltzeichen	745
	Sachwortverzeichnis deutsch	750
	Sachwortverzeichnis englisch	770

Inhaltsverzeichnis

1	Gleichstrom	1
1.1	Grundgrößen, Grundgesetze	1
1.1.1	Elektrische Ladung, Elementarladung	1
1.1.2	Elektrischer Strom	1
1.1.3	Spannung und Potential	2
1.1.4	Ohmsches Gesetz	3
1.1.5	Widerstand und Leitwert	3
1.1.6	Temperaturabhängigkeit des Widerstandes	3
1.1.7	Induktivität	4
1.1.8	Kapazität	5
1.1.9	Ideale Spannungsquelle	5
1.1.10	Ideale Stromquelle	6
1.1.11	Kirchhoffsches Gesetz	6
1.1.11.1	1. Kirchhoffscher Satz (Knotenpunktregel)	6
1.1.11.2	2. Kirchhoffscher Satz (Maschenregel)	7
1.1.12	Leistung und Energie	7
1.1.12.1	Energie und Leistung am ohmschen Widerstand	8
1.1.12.2	Energie in einer Induktivität	9
1.1.12.3	Energie in der Kapazität	9
1.1.13	Wirkungsgrad	10
1.1.14	Leistungsanpassung	11
1.2	Grundschaltungen	12
1.2.1	Reale Spannungs- und Stromquellen	12
1.2.1.1	Reale Spannungsquelle	12
1.2.1.2	Reale Stromquelle	12
1.2.1.3	Umrechnung von Spannungs- in Stromquellen und umgekehrt	13
1.2.2	Reihen- und Parallelschaltung von Bauelementen	14
1.2.2.1	Reihenschaltung von Widerständen	14
1.2.2.2	Parallelschaltung von Widerständen	14
1.2.2.3	Reihenschaltung von Leitwerten	15
1.2.2.4	Parallelschaltung von Leitwerten	15
1.2.2.5	Reihenschaltung von Induktivitäten	16
1.2.2.6	Parallelschaltung von Induktivitäten	16
1.2.2.7	Reihenschaltung von Kapazitäten	17
1.2.2.8	Parallelschaltung von Kapazitäten	17
1.2.3	Stern-Dreieck-Umrechnung	18
1.2.4	Spannungs- und Stromteilerregel	18
1.2.4.1	Spannungsteilerregel	18
1.2.4.2	Stromteilerregel	19
1.2.4.3	Kapazitive und induktive Teiler	19
1.2.5	<i>RC</i> - und <i>RL</i> -Kombinationen	20
1.2.5.1	Reihenschaltung von <i>R</i> und <i>C</i> an einer Spannungsquelle	21
1.2.5.2	Reihenschaltung von <i>R</i> und <i>C</i> an einer Stromquelle	22
1.2.5.3	Parallelschaltung von <i>R</i> und <i>C</i> an einer Stromquelle	22
1.2.5.4	Parallelschaltung von <i>R</i> und <i>C</i> an einer Spannungsquelle	23
1.2.5.5	Reihenschaltung von <i>R</i> und <i>L</i> an einer Spannungsquelle	23

1.2.5.6	Reihenschaltung von R und L an einer Stromquelle	23
1.2.5.7	Parallelschaltung von R und L an einer Spannungsquelle	24
1.2.5.8	Parallelschaltung von R und L an einer Stromquelle	24
1.2.6	RLC -Kombinationen	25
1.2.6.1	Reihenschaltung aus R , L , und C	26
1.3	Berechnungsverfahren für lineare Netzwerke	29
1.3.1	Zählpfeile und Vorzeichenregeln	29
1.3.2	Netzwerkberechnung mit Maschen- und Knotenpunktregel	30
1.3.3	Überlagerungssatz (Superposition)	31
1.3.4	Maschenstromanalyse	32
1.3.5	Knotenpotentialanalyse	33
1.3.6	Aktive und passive Zweipole	34
1.3.7	Zweipolverfahren	34
1.4	Formelzeichen	37
1.5	Weiterführende Literatur	38
2	Elektrische Felder	39
2.1	Elektrostatistisches Feld	39
2.1.1	Coulombsches Gesetz	39
2.1.2	Definition der elektrischen Feldstärke	40
2.1.3	Spannung und Potential	41
2.1.4	Influenz	42
2.1.5	Verschiebungsdichte (elektrische Erregung)	43
2.1.6	Dielektrikum	44
2.1.7	Coulombintegral	45
2.1.8	Gaußscher Satz der Elektrostatik	46
2.1.9	Kapazität	47
2.1.10	Elektrostatistisches Feld an Grenzflächen	48
2.1.11	Übersicht: Felder und Kapazitäten verschiedener geometrischer Anordnungen	49
2.1.12	Energie im elektrostatischen Feld	50
2.1.13	Kräfte im elektrostatischen Feld	51
2.1.13.1	Kraft auf eine Ladung	51
2.1.13.2	Kraft auf Grenzflächen	51
2.1.14	Übersicht: Eigenschaften des elektrostatischen Feldes	53
2.1.15	Zusammenhang der elektrostatischen Feldgrößen	54
2.2	Stationäres elektrisches Strömungsfeld	55
2.2.1	Spannung und Potential	55
2.2.2	Strom	55
2.2.3	Elektrische Feldstärke	55
2.2.4	Stromdichte	57
2.2.5	Spezifischer Widerstand, spezifischer Leitwert	58
2.2.6	Widerstand und Leitwert	59
2.2.7	Kirchhoffsches Gesetz	60
2.2.7.1	1. Kirchhoffscher Satz (Knotenpunktregel)	60
2.2.7.2	2. Kirchhoffscher Satz (Maschenregel)	61
2.2.8	Das Strömungsfeld an Grenzflächen	62
2.2.9	Übersicht: Felder und Widerstände verschiedener geometrischer Anordnungen	63
2.2.10	Leistung und Energie im stationären elektrischen Strömungsfeld	64
2.2.11	Übersicht: Eigenschaften des stationären elektrischen Strömungsfeldes	65
2.2.12	Zusammenhang der Größen im stationären elektrischen Strömungsfeld	66

2.3	Magnetisches Feld	66
2.3.1	Kraft auf die bewegte Ladung	68
2.3.2	Definition der magnetischen Flußdichte	68
2.3.3	Gesetz von BIOT-SAVART	71
2.3.4	Magnetische Feldstärke	72
2.3.5	Magnetischer Fluß	73
2.3.6	Magnetische Spannung und Durchflutungssatz	74
2.3.7	Magnetischer Widerstand, magnetischer Leitwert, Induktivität	76
2.3.8	Materie im Magnetfeld	78
2.3.8.1	Ferromagnetische Materialien	79
2.3.9	Das magnetische Feld an Grenzflächen	81
2.3.10	Der magnetische Kreis	82
2.3.11	Magnetischer Kreis mit Permanentmagnet	84
2.3.12	Übersicht: Induktivitäten verschiedener geometrischer Anordnungen	86
2.3.13	Induktion	87
2.3.13.1	Induktion im bewegten elektrischen Leiter	87
2.3.13.2	Das allgemeine Induktionsgesetz	88
2.3.13.3	Selbstinduktion	92
2.3.14	Gegeninduktion	93
2.3.15	Transformatorprinzip	95
2.3.16	Energie im magnetischen Feld	96
2.3.16.1	Energie im magnetischen Kreis mit Luftspalt	96
2.3.17	Kraft im magnetischen Feld	97
2.3.17.1	Kraft auf den stromdurchflossenen Leiter	97
2.3.17.2	Kraft auf Grenzflächen	98
2.3.18	Übersicht: Eigenschaften des magnetischen Feldes	99
2.3.19	Zusammenhang der magnetischen Feldgrößen	100
2.4	Maxwellsche Gleichungen	101
2.5	Formelzeichen	102
2.6	Weiterführende Literatur	103
3	Wechselstrom	105
3.1	Mathematische Grundlagen der Wechselstromtechnik	105
3.1.1	Sinus- und Kosinusfunktionen	105
3.1.1.1	Addition von Sinusgrößen	106
3.1.2	Komplexe Zahlen	107
3.1.2.1	Arithmetik im Komplexen	108
3.1.2.2	Darstellung komplexer Zahlen	109
3.1.2.3	Umrechnung zwischen verschiedenen Darstellungen	111
3.1.3	Rechenoperationen im Komplexen	111
3.1.3.1	Addition und Subtraktion im Komplexen	111
3.1.3.2	Multiplikation komplexer Zahlen	112
3.1.4	Übersicht: Rechnen mit komplexen Zahlen	113
3.1.5	Die komplexe Exponentialfunktion	114
3.1.5.1	Exponentialfunktion mit imaginärem Exponenten	114
3.1.5.2	Exponentialfunktion mit komplexem Exponenten	115
3.1.6	Trigonometrische Funktionen mit komplexem Argument	115
3.1.7	Von Sinusgrößen zu Zeigergrößen	116
3.1.7.1	Komplexe Amplitude	116
3.1.7.2	Anschauliche Beziehung zwischen Sinusgrößen und Zeigern	117
3.1.7.3	Addition und Subtraktion von Zeigergrößen	117

3.2	Sinusförmige Wechselgrößen	118
3.2.1	Kenngrößen sinusförmiger Wechselgrößen	119
3.2.2	Kenngrößen nicht sinusförmiger Wechselgrößen	122
3.3	Komplexer Widerstands- und Leitwertoperator	123
3.3.1	Widerstandsoperator	123
3.3.2	Komplexe Widerstände der Grundzweipole	125
3.3.2.1	Widerstand	125
3.3.2.2	Induktivität	125
3.3.2.3	Kapazität	125
3.3.3	Leitwertoperator	126
3.3.4	Komplexe Leitwerte der Grundzweipole	127
3.3.5	Übersicht: Komplexe Widerstände	128
3.3.5.1	Widerstands- und Leitwertoperator	128
3.4	Wechselstromwiderstände der Grundzweipole	129
3.5	Kombinationen von Zweipolen	130
3.5.1	Reihenschaltungen	130
3.5.1.1	Allgemeiner Fall	130
3.5.1.2	Widerstand und Induktivität in Reihe	131
3.5.1.3	Widerstand und Kapazität in Reihe	132
3.5.1.4	Widerstand, Induktivität und Kapazität in Reihe	133
3.5.2	Parallelschaltungen	135
3.5.2.1	Allgemeiner Fall	135
3.5.2.2	Widerstand und Induktivität parallel	136
3.5.2.3	Widerstand und Kapazität parallel	137
3.5.2.4	Widerstand, Induktivität und Kapazität parallel	138
3.5.3	Übersicht: Reihen- und Parallelschaltung	140
3.6	Netzwerkumformungen	142
3.6.1	Umwandlung von Parallel- in Reihenschaltung und umgekehrt	142
3.6.2	Stern-Dreieck-Wandlung und umgekehrt	143
3.6.3	Duale Schaltungen	145
3.7	Einfache Netzwerke	147
3.7.1	Komplexe Strom- und Spannungsteiler	147
3.7.2	Belasteter komplexer Spannungsteiler	148
3.7.3	Widerstandsanpassung	149
3.7.4	Spannungsteiler mit definierten Eingangs- und Ausgangswiderständen	151
3.7.5	Netzwerke zur Phasenverschiebung	152
3.7.5.1	RC-Phasenschieber	153
3.7.5.2	Sonstige Schaltungen zur Phasenverschiebung	154
3.7.6	Wechselstrombrücken	156
3.7.6.1	Abgleichbedingung	156
3.7.6.2	Anwendung: Meßtechnik	157
3.8	Leistung im Wechselstromkreis	158
3.8.1	Augenblickleistung	158
3.8.1.1	Leistung am Wirkwiderstand	158
3.8.1.2	Leistung am Blindwiderstand	158
3.8.2	Mittlere Leistung	159
3.8.2.1	Wirkleistung	159
3.8.2.2	Blindleistung	160
3.8.2.3	Scheinleistung	162
3.8.3	Komplexe Leistung	162

3.8.4	Übersicht: Wechselstromleistung	163
3.8.5	Blindstromkompensation	164
3.9	Drehstrom	165
3.9.1	Mehrphasensysteme	165
3.9.2	Dreiphasensystem	166
3.9.2.1	Eigenschaften des Drehoperators g	167
3.9.3	Generator-Dreieckschaltung	168
3.9.4	Generator-Sternschaltung	169
3.10	Übersicht: Symmetrische Drehstromsysteme	171
3.10.1	Leistung im Dreiphasensystem	172
3.11	Formelzeichen	173
3.12	Weiterführende Literatur	174
4	Elektrische Maschinen	176
4.1	Grundlagen des magnetischen Feldes	176
4.1.1	Erzeugung eines magnetischen Feldes	176
4.1.2	Motorprinzip	177
4.1.3	Generatorprinzip	177
4.1.4	Allgemeines Induktionsgesetz	178
4.1.5	Ferromagnetische Werkstoffe	179
4.1.6	Streuung	179
4.1.7	Eisenverluste	180
4.1.7.1	Hystereseverluste	180
4.1.7.2	Wirbelstromverluste	180
4.2	Drehmoment, mechanische Leistung und Beschleunigung	180
4.2.1	Typenschildangaben	181
4.2.2	Baugröße, Drehmoment, Leistung	181
4.2.3	Rechtslauf/Linkslauf	182
4.2.4	Drehzahl-Drehmoment-Arbeitspunkt	182
4.2.5	Beschleunigung und Hochlaufzeiten	182
4.2.5.1	Beschleunigung	183
4.2.5.2	Hochlaufzeit	183
4.2.5.3	Beschleunigungsweg	184
4.3	Transformatoren	186
4.3.1	Der ideale Transformator	186
4.3.2	Der reale Transformator	187
4.3.2.1	Messung der Leerlaufverluste P_0	188
4.3.2.2	Messung der Stromwärmeverluste	188
4.3.2.3	Betriebsverluste	189
4.3.3	Parallelschalten von Transformatoren	189
4.3.4	Spartransformatoren	190
4.3.5	Trenntransformatoren	190
4.3.6	Drehstromtransformatoren	190
4.3.6.1	Schaltgruppen und Kennzeichnung	191
4.4	Gleichstrommaschinen	192
4.4.1	Aufbau von Gleichstrommaschinen	192
4.4.1.1	Ankerquerfeld	193
4.4.1.2	Kompensationswicklung	193
4.4.1.3	Wendepolwicklung	194
4.4.2	Der drehende Rotor und sein Ersatzschaltbild	194
4.4.3	Nebenschluß- und Reihenschlußmaschinen	195

4.4.4	Nebenschlußmaschinen	196
4.4.5	Drehzahlverstellung beim Gleichstromnebenschlußmotor	197
4.4.5.1	Drehzahlverstellung durch Veränderung der Ankerspannung	197
4.4.5.2	Drehzahlverstellung mittels Feldschwächung	199
4.4.5.3	Drehzahlverstellung mittels Vorwiderstand	199
4.4.6	Reihenschlußmaschinen	199
4.4.6.1	Reihenschlußmaschinen am Wechselstromnetz	201
4.4.7	Drehzahlsteuerung von Universalmotoren	202
4.4.8	Nebenschluß- und Reihenschlußverhalten	202
4.5	Drehstrommotoren	203
4.5.1	Erzeugung des Drehfeldes	203
4.5.2	Synchronmaschinen	204
4.5.3	Asynchronmotoren	205
4.5.3.1	Funktionsprinzip	205
4.5.3.2	Bemessungsdaten (Nenndaten) der Asynchronmaschine	207
4.5.3.3	Elektrisches Ersatzschaltbild der Asynchronmaschine	208
4.5.3.4	Drehzahl-Drehmomentverlauf	209
4.5.3.5	Einfluß des Läuferwiderstandes	210
4.5.3.6	Stromverdrängung	210
4.5.3.7	Einfluß der Speisespannung auf das Drehmoment	211
4.5.4	Die Stromortskurve der Drehstromasynchronmaschine	211
4.5.4.1	Konstruktion der Stromortskurve	213
4.5.4.2	Die reale Stromortskurve	213
4.5.5	Reduzierung des Anlaufstromes	213
4.5.5.1	Stern-Dreieck-Umschaltung	213
4.5.5.2	Sanftanlaufgeräte	214
4.5.6	Drehzahlverstellung von Asynchronmotoren	214
4.5.6.1	Polumschaltung	214
4.5.6.2	Frequenzumrichter	215
4.5.7	Generatorischer Betrieb der Asynchronmaschine	216
4.5.8	Bremsen der Drehstromasynchronmaschine	217
4.5.8.1	Generatorisches Bremsen	217
4.5.8.2	Gleichstrombremsen	217
4.5.9	Linearmotor	217
4.5.10	Einphasig gespeister Drehstromasynchronmotor	218
4.6	Kleinmotoren	219
4.6.1	Kondensatormotor	219
4.6.2	Spaltpolmotor	219
4.6.3	Schrittmotor	220
4.7	Formelzeichen	221
4.8	Weiterführende Literatur	221
5	Messung von Strom, Spannung, Leistung	223
5.1	Elektrische Meßwerke	223
5.1.1	Drehspulmeßwerk	223
5.1.2	Kreuzspulmeßwerk	224
5.1.3	Elektrodynamisches Meßwerk	224
5.1.4	Dreheisenmeßwerk	225
5.1.5	Weitere Meßwerke	225
5.1.6	Übersicht: Elektrische Meßwerke	227

5.2	Messung von Gleichstrom und Gleichspannung	228
5.2.1	Drehspulinstrument	228
5.2.2	Meßbereichserweiterung für Strommessungen	228
5.2.3	Meßbereichserweiterung für Spannungsmessungen	230
5.2.4	Überlastschutz	230
5.2.5	Systematische Meßabweichungen	230
5.3	Messung von Wechselspannung und Wechselstrom	231
5.3.1	Drehspulinstrument mit Gleichrichter	231
5.3.2	Dreheiseninstrument	233
5.3.3	Meßbereichserweiterung durch Meßwandler	233
5.3.4	Effektivwertmessung	234
5.4	Berührungslose Messung von Gleich- und Wechselströmen	235
5.5	Leistungsmessung	237
5.5.1	Leistungsmessung im Gleichstromkreis	237
5.5.2	Leistungsmessung im Wechselstromkreis	238
5.5.2.1	Drei-Voltmeter-Methode	239
5.5.2.2	Leistungsfaktormessung	240
5.5.3	Leistungsmessung im Drehstromkreis	241
5.5.3.1	Messung der Wirkleistung im Drehstromnetz	241
5.5.3.2	Messung der Blindleistung im Drehstromnetz	242
5.5.3.3	Leistungsmeßköffer	243
5.6	Digitale Messung von Gleichspannung	245
5.6.1	Parallel-Umsetzer (Flashconverter)	245
5.6.2	Kompensationsverfahren	246
5.6.3	Nachlauf-Umsetzer	247
5.6.4	Sukzessive Approximation	247
5.6.5	Einrampenverfahren	248
5.6.6	Zweirampenverfahren	249
5.6.7	Abtast-Halte-Kreis	250
5.6.8	Übersicht: Verfahren zur Analog-Digital-Umsetzung	251
5.6.9	Schaltzeichen für Analog-Digital-Umsetzer	251
5.7	Digital-Analog-Umsetzung	251
5.7.1	Schaltzeichen für Digital-Analog-Umsetzer	251
5.7.2	Parallelverfahren	251
5.7.3	Wägeverfahren	252
5.7.4	Deglitching	253
5.7.5	Pulsweitenmodulation	253
5.7.6	Übersicht: Auflösung und Codierung bei ADU und DAU	254
5.8	Meßfehler	255
5.8.1	Systematische und zufällige Fehler	255
5.8.2	Garantie-Fehlergrenzen	255
5.9	Übersicht: Hinweiszeichen auf Meßinstrumenten	256
5.10	Übersicht: Meßverfahren	257
5.11	Formelzeichen	258
5.12	Weiterführende Literatur	259
6	Netzwerke bei veränderlicher Frequenz	260
6.1	Lineare Systeme	260
6.1.1	Übertragungsfunktion, Amplituden- und Phasengang	261
6.2	Filter	263
6.2.1	Tiefpaß	263

6.2.2	Hochpaß	264
6.2.3	Bandpaß	264
6.2.4	Bandsperre	265
6.2.5	Allpaß	265
6.3	Einfache Filter	266
6.3.1	Tiefpaß	266
6.3.1.1	Anstiegszeit	267
6.3.2	Frequenznormierung	268
6.3.2.1	Verstärkungsmaß in der Näherung	269
6.3.3	Hochpaß	269
6.3.3.1	Verstärkungsmaß in der Näherung	271
6.3.4	Filter höherer Ordnung	271
6.3.5	Bandpaß	273
6.3.6	Realisierungen von Filtern	275
6.4	Formelzeichen	275
6.5	Weiterführende Literatur	276
7	Signale und Systeme	277
7.1	Signale	277
7.1.1	Definitionen	277
7.1.2	Symmetrie-Eigenschaften von Signalen	278
7.2	FOURIER-Reihe	279
7.2.1	Trigonometrische Form	279
7.2.1.1	Symmetrie-Eigenschaften	281
7.2.2	Amplituden-Phasen-Form	281
7.2.3	Exponential-Form	281
7.2.3.1	Symmetrie-Eigenschaften	282
7.2.4	Übersicht: FOURIER-Reihendarstellung	283
7.2.5	Nützliche Integrale bei der Berechnung von FOURIER-Koeffizienten	284
7.2.6	Tabelle: FOURIER-Reihen	285
7.2.7	Anwendung der FOURIER-Reihen	287
7.2.7.1	Spektrum eines Rechtecksignals	287
7.2.7.2	Spektrum eines Sägezahnsignals	288
7.2.7.3	Spektrum eines zusammengesetzten Signals	289
7.3	Systeme	290
7.3.1	System-Eigenschaften	290
7.3.1.1	Lineare Systeme	290
7.3.1.2	Kausale Systeme	291
7.3.1.3	Zeitinvariante Systeme	291
7.3.1.4	Stabile Systeme	292
7.3.1.5	LTI-Systeme	292
7.3.2	Elementarsignale	292
7.3.2.1	Die Sprungfunktion	292
7.3.2.2	Die Rechteckfunktion	293
7.3.2.3	Der Dreieckimpuls	293
7.3.2.4	Der Gaußimpuls	293
7.3.2.5	Die Stoßfunktion (DIRAC-Funktion)	294
7.3.3	Verschiebung und Dehnung eines Zeitsignals	295
7.3.4	Systemreaktionen	296
7.3.4.1	Impulsantwort	297
7.3.4.2	Sprungantwort	297

7.3.4.3	Systemantwort bei beliebigem Eingangssignal	298
7.3.4.4	Rechenregeln der Faltung	299
7.3.4.5	Übertragungsfunktion	300
7.3.4.6	Berechnung der Systemantwort im Frequenzbereich	301
7.3.5	Berechnung der Impuls- und Sprungantwort	302
7.3.5.1	Normierung von Schaltkreisen	302
7.3.5.2	Impuls/Sprungantwort von Systemen erster Ordnung	303
7.3.5.3	Impuls-/Sprungantwort von Systemen zweiter Ordnung	304
7.3.6	Ideale Systeme	307
7.3.6.1	Das verzerrungsfreie System	307
7.3.6.2	Der ideale Tiefpaß	308
7.3.6.3	Der ideale Bandpaß	311
7.4	FOURIER-Transformation	312
7.4.1	Prinzip	312
7.4.2	Definition	313
7.4.3	Darstellung der FOURIER-Transformierten	314
7.4.3.1	Symmetrie-Eigenschaften	314
7.4.4	Übersicht: Eigenschaften der FOURIER-Transformation	315
7.4.5	FOURIER-Transformierte von Elementarsignalen	316
7.4.5.1	Spektrum der DIRAC-Funktion	316
7.4.5.2	Spektrum der Signum- und Sprungfunktion	317
7.4.5.3	Spektrum des Rechteckimpulses	318
7.4.5.4	Spektrum des Dreieckimpulses	319
7.4.5.5	Spektrum des Gaußimpulses	319
7.4.5.6	Spektrum harmonischer Zeitfunktionen	320
7.4.6	Tabelle: FOURIER-Transformierte	321
7.4.7	Von der LAPLACE-Transformierten zur FOURIER-Transformierten	324
7.5	LAPLACE-Transformation	325
7.5.1	Prinzip	325
7.5.2	Definition	325
7.5.3	Kausale und stabile Funktionen	326
7.5.4	Übersicht: Eigenschaften der LAPLACE-Transformation	327
7.5.5	Laplace-Transformierte von Elementarsignalen	328
7.5.6	Systemfunktionen im Bildbereich	330
7.5.7	Pol-Nullstellen-Plan (PN-Plan)	331
7.5.8	Von der FOURIER-Transformierten zur LAPLACE-Transformierten	335
7.5.8.1	Berechnung der Systemantwort im Bildbereich	336
7.5.9	Rücktransformation der Laplace-Transformierten	337
7.5.9.1	Verwendung der Tabellen	337
7.5.9.2	Partialbruchzerlegung	337
7.5.9.3	Beispiel für die Ermittlung der Systemantwort unter Verwendung der Korrespondenztabelle	338
7.5.10	Tabelle: LAPLACE-Transformierte von Zeitfunktionen	339
7.5.11	Tabelle: Inverse Laplace-Transformierte von Bildfunktionen	343
7.6	Nichtlineare Systeme	347
7.6.1	Definition	347
7.6.2	Charakterisierung nichtlinearer Systeme	348
7.6.2.1	Kennliniengleichung	348
7.6.2.2	Klirrfaktor	349
7.6.2.3	Intermodulationsabstand	350

7.7	Formelzeichen	352
7.8	Weiterführende Literatur	354
8	Analoge Schaltungstechnik	355
8.1	Berechnungsverfahren	355
8.1.1	Linearisierung im Arbeitspunkt	355
8.1.2	Wechselstromersatzschaltung	356
8.1.3	Ein- und Ausgangsimpedanz	357
8.1.3.1	Bestimmung der Eingangsimpedanz	357
8.1.3.2	Bestimmung der Ausgangsimpedanz	357
8.1.3.3	Zusammenschaltung von Zweipolen	358
8.1.4	Vierpolverfahren	359
8.1.4.1	Vierpolgleichungen	359
8.1.4.2	h -Parameter (Hybrid-Parameter*)	360
8.1.4.3	y -Parameter (Leitwertparameter*)	360
8.1.5	Blockschaltbilder	361
8.1.5.1	Rechenregeln für Blockschaltbilder	362
8.1.6	Bode-Diagramm	363
8.2	Silizium- und Germaniumdioden	364
8.2.1	Strom-Spannungsverhalten von Si- und Ge-Dioden	364
8.2.2	Temperaturabhängigkeit der Schleusenspannung	365
8.2.3	Differentieller Widerstand (dynamischer Widerstand)	365
8.3	Kleinsignalverstärker mit Bipolartransistoren	365
8.3.1	Transistor Kenngrößen	366
8.3.1.1	Schaltbilder und Zählpfeilrichtungen für Bipolartransistoren	366
8.3.1.2	Ausgangskennlinien	366
8.3.1.3	Steuerkennlinie (Übertragungskennlinie)	367
8.3.1.4	Eingangskennlinie	367
8.3.1.5	Statische Stromverstärkung B	368
8.3.1.6	Differentielle Stromverstärkung β	368
8.3.1.7	Steilheit S	368
8.3.1.8	Temperaturdrift	369
8.3.1.9	Differentieller Eingangswiderstand r_{BE}	369
8.3.1.10	Differentieller Ausgangswiderstand r_{CE}	369
8.3.1.11	Spannungsrückwirkung A_r	370
8.3.1.12	Transitfrequenz f_T	370
8.3.2	Ersatzschaltbilder	370
8.3.2.1	Statisches Ersatzschaltbild	370
8.3.2.2	Wechselstromersatzschaltbild	371
8.3.2.3	Ersatzschaltbild nach GIACOLETTO	371
8.3.3	Darlingtonschaltung	372
8.3.3.1	Quasidarlingtonschaltung	373
8.3.4	Grundsaltungen mit Bipolartransistoren	374
8.3.5	Emitterschaltung	374
8.3.5.1	Vierpolgleichungen der Emitterschaltung	375
8.3.5.2	Wechselstromersatzschaltbild der Emitterschaltung	376
8.3.5.3	Eingangswiderstand der Emitterschaltung	377
8.3.5.4	Ausgangswiderstand der Emitterschaltung	378
8.3.5.5	Wechselspannungsverstärkung der Emitterschaltung	379
8.3.5.6	Arbeitspunkteinstellung	380
8.3.5.7	Arbeitspunktstabilisierung	382

8.3.5.8	Arbeitsgerade	384
8.3.5.9	Emitterschaltung bei hohen Frequenzen	385
8.3.6	Kollektorschaltung (Emitterfolger)	385
8.3.6.1	Wechselstromersatzschaltbild der Kollektorschaltung	386
8.3.6.2	Eingangswiderstand der Kollektorschaltung	386
8.3.6.3	Ausgangswiderstand der Kollektorschaltung	387
8.3.6.4	Wechselstromverstärkung der Kollektorschaltung	387
8.3.6.5	Kollektorschaltung bei hohen Frequenzen	387
8.3.7	Basisschaltung	388
8.3.7.1	Wechselstromersatzschaltbild der Basisschaltung	388
8.3.7.2	Eingangswiderstand der Basisschaltung	389
8.3.7.3	Ausgangswiderstand der Basisschaltung	389
8.3.7.4	Wechselspannungsverstärkung der Basisschaltung	389
8.3.7.5	Basisschaltung bei hohen Frequenzen	390
8.3.8	Übersicht: Bipolartransistor-Grundsaltungen	390
8.3.9	Stromquellen mit Bipolartransistoren	391
8.3.10	Differenzverstärker mit Bipolartransistoren	392
8.3.10.1	Differenzverstärkung (Gegentaktverstärkung)	394
8.3.10.2	Gleichtaktverstärkung	394
8.3.10.3	Gleichtaktunterdrückung	395
8.3.10.4	Eingangswiderstand des Differenzverstärkers	395
8.3.10.5	Ausgangswiderstand des Differenzverstärkers	396
8.3.10.6	Offsetspannung des Differenzverstärkers	396
8.3.10.7	Offsetstrom des Differenzverstärkers	396
8.3.10.8	Offsetspannungsdrift	396
8.3.10.9	Beispiele für Differenzverstärker	397
8.3.11	Übersicht: Differenzverstärker mit Bipolartransistoren	398
8.3.12	Stromspiegelschaltung	398
8.3.12.1	Varianten der Stromspiegelschaltung	399
8.4	Kleinsignalverstärker mit Feldeffekttransistoren	399
8.4.1	Transistorkenngrößen	399
8.4.1.1	Schaltbilder und Zählpfeilrichtungen für Feldeffekttransistoren	399
8.4.1.2	Übertragungskennlinien und Ausgangskennlinienfeld von JFETs	401
8.4.1.3	Übertragungskennlinie und Ausgangskennlinienfeld von IGFETs	402
8.4.1.4	Steilheit	402
8.4.1.5	Differentieller Ausgangswiderstand	403
8.4.1.6	Eingangsimpedanz	403
8.4.2	Ersatzschaltbilder	403
8.4.2.1	Ersatzschaltbild für niedrige Frequenzen	403
8.4.2.2	Ersatzschaltbild für hohe Frequenzen	404
8.4.2.3	Grenzfrequenz der Vorwärtssteilheit	404
8.4.3	Grundsaltungen mit Feldeffekttransistoren	404
8.4.4	Sourceschaltung	405
8.4.4.1	Vierpolgleichungen der Sourceschaltung	406
8.4.4.2	Wechselstromersatzschaltbild der Sourceschaltung	406
8.4.4.3	Eingangsimpedanz der Sourceschaltung	407
8.4.4.4	Ausgangsimpedanz der Sourceschaltung	407
8.4.4.5	Wechselspannungsverstärkung	408
8.4.4.6	Arbeitspunkteinstellung	408
8.4.4.7	Drainschaltung, Sourcefolger	410
8.4.4.8	Wechselstromersatzschaltbild der Drainschaltung	410

8.4.4.9	Eingangswiderstand der Drainschaltung	410
8.4.4.10	Ausgangswiderstand der Drainschaltung	411
8.4.4.11	Spannungsverstärkung der Drainschaltung	411
8.4.4.12	Drainschaltung bei hohen Frequenzen	411
8.4.5	Gateschaltung	411
8.4.5.1	Eingangswiderstand der Gateschaltung	412
8.4.5.2	Ausgangswiderstand der Gateschaltung	412
8.4.5.3	Spannungsverstärkung der Gateschaltung	412
8.4.6	Übersicht: Grundschaltungen mit Feldeffekttransistoren	412
8.4.7	Stromquelle mit FETs	413
8.4.8	Differenzverstärker mit Feldeffekttransistoren	413
8.4.8.1	Differenzverstärkung (Gegentaktverstärkung)	414
8.4.8.2	Gleichtaktverstärkung	414
8.4.8.3	Gleichtaktunterdrückung	414
8.4.8.4	Eingangsimpedanz	415
8.4.8.5	Ausgangswiderstand	415
8.4.9	Übersicht: Differenzverstärker mit Feldeffekttransistoren	415
8.4.10	Der FET als steuerbarer Widerstand	415
8.5	Gegenkopplung	416
8.5.1	Gegenkopplungsarten	418
8.5.2	Einfluß der Gegenkopplung auf die Ein- und Ausgangsimpedanz	420
8.5.2.1	Ein- und Ausgangsimpedanz der vier Gegenkopplungsarten	421
8.5.3	Einfluß der Gegenkopplung auf den Frequenzgang	421
8.5.4	Stabilität gegengekoppelter Systeme	422
8.6	Operationsverstärker	423
8.6.1	Kennwerte des Operationsverstärkers	424
8.6.1.1	Ausgangsaussteuerbereich	424
8.6.1.2	Offsetspannung	424
8.6.1.3	Offsetspannungsdrift	424
8.6.1.4	Gleichtaktaussteuerbereich	424
8.6.1.5	Differenzverstärkung	425
8.6.1.6	Gleichtaktverstärkung	425
8.6.1.7	Gleichtaktunterdrückung	425
8.6.1.8	Betriebsspannungsdurchgriff	425
8.6.1.9	Eingangswiderstand	426
8.6.1.10	Ausgangswiderstand*	426
8.6.1.11	Eingangsruhestrom*	426
8.6.1.12	Verstärkungsbandbreiteprodukt* (Transitfrequenz)	426
8.6.1.13	Grenzfrequenz	427
8.6.1.14	Anstiegssteilheit der Ausgangsspannung (Slew Rate)	427
8.6.1.15	Ersatzschaltbild des Operationsverstärkers	427
8.6.2	Frequenzgangkorrektur	428
8.6.3	Komparatoren	429
8.6.4	Operationsverstärkerschaltungen	429
8.6.4.1	Impedanzwandler	430
8.6.4.2	Nichtinvertierender Verstärker (Elektrometerverstärker)	430
8.6.4.3	Invertierender Verstärker	431
8.6.4.4	Addierer	433
8.6.4.5	Subtrahierer	433
8.6.4.6	Instrumentenverstärker	434
8.6.4.7	Spannungsgesteuerte Stromquellen	435

	8.6.4.8	Integrator	436
	8.6.4.9	Differenzierer (Differenziator)	437
	8.6.4.10	Wechselspannungsverstärker mit einer Betriebsspannung	437
	8.6.4.11	Spannungseinsteller mit definierter Änderungsgeschwindigkeit	438
	8.6.4.12	Schmitt-Trigger	438
	8.6.4.13	Dreieck-Rechteck-Generator	439
	8.6.4.14	Multivibrator	440
	8.6.4.15	Sägezahn-Generator	440
	8.6.4.16	Pulsweitenmodulator	441
8.7		Aktive Filter	442
	8.7.1	Tiefpässe	443
		8.7.1.1 Theorie der Tiefpässe	443
		8.7.1.2 Berechnung von Tiefpässen	449
		8.7.1.3 Tiefpaß-Schaltungen	451
	8.7.2	Hochpässe	453
		8.7.2.1 Theorie der Hochpässe	453
		8.7.2.2 Hochpaß-Schaltungen	453
	8.7.3	Bandpässe	454
		8.7.3.1 Bandpässe 2. Ordnung	454
		8.7.3.2 Bandpaß-Schaltung 2. Ordnung	455
		8.7.3.3 Bandpässe 4. und höherer Ordnung	456
	8.7.4	Universalfilter	456
	8.7.5	Filter mit geschalteten Kapazitäten	457
8.8		Oszillatoren	458
	8.8.1	RC-Oszillatoren	459
		8.8.1.1 Phasenschieberoszillator	459
		8.8.1.2 Wien-Robinson-Oszillator, Wienbrückenoszillator	460
	8.8.2	LC-Oszillatoren	460
		8.8.2.1 Meißner-Oszillator	460
		8.8.2.2 Hartley-Oszillator (Induktiver Dreipunkt-Oszillator)	461
		8.8.2.3 Colpitts-Oszillator (kapazitiver Dreipunktoszillator)	462
	8.8.3	Quarz-Oszillatoren*	462
		8.8.3.1 Pierce-Oszillator*	463
		8.8.3.2 Quarzoszillator mit TTL-Gattern	463
	8.8.4	Multivibratoren	464
8.9		Erwärmung und Kühlung	464
	8.9.1	Zuverlässigkeit und Lebensdauer	465
	8.9.2	Temperaturberechnung	466
		8.9.2.1 Wärmewiderstand*	467
		8.9.2.2 Wärmekapazität	468
		8.9.2.3 Der transiente Wärmewiderstand (Pulsärmewiderstand)	469
8.10		Leistungsverstärker	470
	8.10.1	Emitterfolger*	470
	8.10.2	Komplementärer Emitterfolger im B-Betrieb	474
	8.10.3	Komplementärer Emitterfolger im C-Betrieb	476
	8.10.4	Die Betriebsarten im Ausgangskennlinienfeld	477
	8.10.5	Komplementärer Emitterfolger im AB-Betrieb	477
		8.10.5.1 Vorspannungserzeugung für den AB-Betrieb	478
		8.10.5.2 Komplementärer Emitterfolger mit Darlingtonttransistoren	479
		8.10.5.3 Strombegrenzung beim komplementären Emitterfolger	480

8.10.6	Ansteuerung von Leistungsverstärkern	481
8.10.6.1	Ansteuerung über Differenzverstärker	481
8.10.6.2	Ansteuerung über Operationsverstärker	482
8.10.7	Taktverstärker	482
8.11	Formelzeichen	483
8.11.1	Weiterführende Literatur	485
9	Digitaltechnik	486
9.1	Schaltalgebra (Boolesche Algebra)	486
9.1.1	Logische Variablen und logische Grundfunktionen	486
9.1.1.1	Negation	486
9.1.1.2	UND-Funktion (Konjunktion)	487
9.1.1.3	ODER-Funktion (Disjunktion)	487
9.1.2	Logische Funktionen und ihre Symbole	487
9.1.2.1	Inverter (NOT)	488
9.1.2.2	UND-Verknüpfung (AND)	488
9.1.2.3	ODER-Verknüpfung (OR)	488
9.1.2.4	NAND-Verknüpfung	489
9.1.2.5	NOR-Verknüpfung	489
9.1.2.6	EXOR-Verknüpfung (Antivalenz, exklusives ODER)	490
9.1.3	Termumformungen	491
9.1.3.1	Kommutativ-Gesetze	491
9.1.3.2	Assoziativ-Gesetze	491
9.1.3.3	Distributiv-Gesetze	491
9.1.3.4	Inversions-Gesetze (De Morgansche Regeln)	491
9.1.4	Übersicht: Termumformungen	492
9.1.5	Analyse von logischen Schaltungen	493
9.1.6	Normalformen	493
9.1.6.1	Disjunktive Normalform	494
9.1.6.2	Konjunktive Normalform	495
9.1.7	Systematische Reduktion einer logischen Funktion	495
9.1.7.1	Karnaugh-Diagramm	496
9.1.7.2	Das Verfahren nach Quine und McCluskey	499
9.1.8	Synthese von Schaltnetzen	501
9.1.8.1	Typisierung auf NAND-Glieder	502
9.1.8.2	Typisierung auf NOR-Glieder	502
9.2	Elektronische Realisierung von Schaltfunktionen	503
9.2.1	Elektrische Kenndaten	503
9.2.1.1	Pegel	503
9.2.1.2	Übertragungskennlinie	503
9.2.1.3	Lastfaktoren	504
9.2.1.4	Störabstand	504
9.2.1.5	Verzögerungszeit	505
9.2.1.6	Anstiegszeiten	505
9.2.1.7	Verlustleistung	506
9.2.1.8	Mindeststeilheit	506
9.2.1.9	Integration	506
9.2.2	Übersicht: Bezeichnungen in Datenblättern	507
9.2.3	TTL-Familie	508
9.2.3.1	TTL-Baureihen	509
9.2.3.2	Grundsaltung von TTL-Gattern	510

9.2.4	CMOS-Familie	511
9.2.5	Vergleich TTL vs. CMOS	512
9.2.5.1	Weitere Logik-Familien	513
9.2.6	Spezielle Schaltungsvarianten	513
9.2.6.1	Ausgänge mit offenem Kollektor	513
9.2.6.2	Phantom UND/ODER Verknüpfung	514
9.2.6.3	Tristate-Ausgänge	515
9.2.6.4	Schmitt-Trigger-Eingänge	516
9.3	Schaltnetze, Schaltwerke	517
9.3.1	Abhängigkeitsnotation	517
9.3.1.1	Übersicht: Abhängigkeitsnotation	519
9.3.2	Schaltsymbole für Schaltnetze und Schaltwerke	519
9.4	Beispiele für Schaltnetze	520
9.4.1	1-aus-n-Dekoder	520
9.4.2	Multiplexer und Demultiplexer	521
9.4.2.1	Typenübersicht	522
9.5	Flip-Flops	522
9.5.1	Anwendungen von Flip-Flops	522
9.5.2	RS-Flip-Flop	523
9.5.2.1	RS-Flip-Flop mit Takteingang	524
9.5.3	D-Flip-Flop	524
9.5.4	Master-Slave-Flip-Flop	525
9.5.5	JK-Flip-Flop	526
9.5.6	Steuerung (<i>Triggerung</i>) von Flip-Flops	526
9.5.7	Bezeichnungen an Flip-Flop-Schaltsymbolen	527
9.5.8	Übersicht: Flip-Flops	528
9.5.9	Übersicht: Flankengetriggerte Flip-Flops	528
9.5.10	Synthese von flankengesteuerten Flip-Flops	530
9.5.11	Übersicht: Flip-Flop Schaltkreise	532
9.6	Speicher	533
9.6.1	Prinzipieller Aufbau	533
9.6.2	Speicherzugriff	534
9.6.3	Statische und dynamische RAMs	535
9.6.3.1	Erweiterungen und Varianten von RAM Speichern	536
9.6.4	Festwertspeicher	537
9.6.5	Programmierbare Funktionsspeicher	538
9.6.5.1	Prinzip	538
9.6.5.2	PLD Typen	539
9.6.5.3	Ausgangsschaltungen	540
9.7	Register und Schieberegister	542
9.8	Zähler	543
9.8.1	Asynchron-Zähler	543
9.8.1.1	Dualzähler	543
9.8.1.2	Dezimalzähler	545
9.8.1.3	Rückwärtszähler	547
9.8.1.4	Vorwärts-Rückwärtszähler	548
9.8.1.5	Programmierbare Zähler	548
9.8.2	Synchronzähler	549
9.8.2.1	Kaskadierung von Synchron-Zählern	550

9.8.3	Übersicht: TTL- und CMOS Zähler	552
9.8.3.1	TTL-Zähler	553
9.8.3.2	CMOS-Zähler	554
9.9	Entwurf und Synthese von Schaltwerken	554
9.10	Weiterführende Literatur	561
10	Stromversorgungen	563
10.1	Netztransformatoren	563
10.2	Gleichrichtung und Siebung	565
10.2.1	Verschiedene Gleichrichterschaltungen	566
10.2.2	Spannungsvervielfacher	568
10.2.2.1	Delon-Schaltung	568
10.2.3	Villard-Schaltung	569
10.2.4	Ladungspumpen	569
10.3	Phasenanschnittsteuerung	570
10.4	Analoge Spannungsstabilisierungen	572
10.4.1	Spannungsstabilisierung mit Zenerdiode	572
10.4.2	Stabilisierung mit Längstransistor	572
10.4.3	Spannungsregelung	573
10.4.3.1	Integrierte Spannungsregler	574
10.5	Schaltnetzteile	574
10.5.1	Sekundärgetaktete Schaltnetzteile (Drosselwandler)	575
10.5.1.1	Abwärtswandler	575
10.5.1.2	Aufwärtswandler	577
10.5.1.3	Invertierender Wandler	579
10.5.2	Primärgetaktete Schaltnetzteile	580
10.5.2.1	Sperrwandler	580
10.5.2.2	Eintaktdurchflußwandler	584
10.5.2.3	Gegentaktwandler	586
10.5.2.4	Resonanzwandler	588
10.5.3	Übersicht: Schaltnetzteile	591
10.5.4	Regelung von Schaltnetzteilen	593
10.5.4.1	Voltage-mode-Regelung	593
10.5.4.2	Current-mode-Regelung	593
10.5.4.3	Vergleich: voltage-mode vs. current-mode-Regelung	594
10.5.4.4	Dimensionierung des PI-Reglers	595
10.5.5	Wickelgüter	595
10.5.5.1	Berechnung von Speicherdrosseln	595
10.5.5.2	Berechnung von Hochfrequenztransformatoren	597
10.5.6	Leistungsfaktor-Vorregelung	600
10.5.6.1	Ströme, Spannungen und Leistung im Leistungsfaktor-Vorregler	601
10.5.6.2	Die Regelung des Leistungsfaktor-Vorreglers	602
10.5.7	Funkentstörung von Schaltnetzteilen	603
10.5.7.1	Funkstörstrahlung	604
10.5.7.2	Leitungsgebundene Störungen	604
10.5.7.3	Verminderung der asymmetrischen Funkstörspannungen	605
10.5.7.4	Verminderung der symmetrischen Funkstörspannungen	606
10.5.7.5	Vollständiges Funkentstörfilter	607
10.6	Formelzeichen	607
10.7	Weiterführende Literatur	608

A	Mathematische Grundlagen	610
A.1	Trigonometrische Funktionen	610
A.1.1	Eigenschaften	610
A.1.2	Summen und Differenzen von Winkelfunktionen	611
A.1.3	Summen und Differenzen im Argument	612
A.1.4	Vielfache des Arguments	612
A.1.5	Gewichtete Summe von Winkelfunktionen	613
A.1.6	Produkte von Winkelfunktionen	613
A.1.7	Dreifachprodukte	613
A.1.8	Potenzen von Winkelfunktionen	614
A.1.9	Winkelfunktionen mit komplexem Argument	614
A.2	Inverse Winkelfunktionen (Arkusfunktionen)	614
A.3	Hyperbelfunktionen	615
A.4	Differentialrechnung	615
A.4.1	Differentiationsregeln	615
A.4.2	Ableitungen einfacher Funktionen	616
A.5	Integralrechnung	616
A.5.1	Integrationsregeln	616
A.5.1.1	Integrale einfacher Funktionen	617
A.5.2	Integrale mit Winkelfunktionen	618
A.5.3	Integrale mit Exponentialfunktionen	620
A.5.4	Integrale mit inversen Winkelfunktionen	621
A.5.5	Bestimmte Integrale	621
A.6	Das Integral der Standard-Normalverteilung	624
B	Tabellen	627
B.1	Das SI-System	627
B.1.1	Dezimalvorsätze	628
B.1.2	SI-Einheiten der Elektrotechnik	629
B.2	Naturkonstanten	630
B.3	Formelzeichen des griechischen Alphabets	630
B.4	Einheiten und Definitionen technisch-physikalischer Größen	631
B.5	Englisch/Amerikanische Einheiten	632
B.6	Sonstige Einheiten	634
B.7	Lade- und Entladekurven	637
B.8	IEC-Normreihe	638
B.9	Farbcode zur Kennzeichnung von Widerständen	639
B.10	Parallelschaltung von Widerständen	640
B.11	Strombelastbarkeit von Leiterbahnen	641
B.12	Amerikanische Drahtstärken	642
B.13	Trockenbatterien	644
B.14	Bezeichnung der Radiofrequenzbereiche	645
B.15	Pegel	646
B.15.1	Absolute Pegel	646
B.15.1.1	Umrechnung von Leistungs- und Spannungspegeln	647
B.15.2	Relative Pegel	648
B.16	Kontaktbelegung ausgewählter Steckverbinder	649
B.16.1	VGA (9-polig)	649
B.16.2	VGA (15-polig)	649
B.16.3	9-zu-15-Stift-VGA-Kabel	650
B.16.4	SCART	650

9.8.3	Übersicht: TTL- und CMOS Zähler	552
9.8.3.1	TTL-Zähler	553
9.8.3.2	CMOS-Zähler	554
9.9	Entwurf und Synthese von Schaltwerken	554
9.10	Weiterführende Literatur	561
10	Stromversorgungen	563
10.1	Netztransformatoren	563
10.2	Gleichrichtung und Siebung	565
10.2.1	Verschiedene Gleichrichterschaltungen	566
10.2.2	Spannungsvervielfacher	568
10.2.2.1	Delon-Schaltung	568
10.2.3	Villard-Schaltung	569
10.2.4	Ladungspumpen	569
10.3	Phasenanschnittsteuerung	570
10.4	Analoge Spannungsstabilisierungen	572
10.4.1	Spannungsstabilisierung mit Zenerdiode	572
10.4.2	Stabilisierung mit Längstransistor	572
10.4.3	Spannungsregelung	573
10.4.3.1	Integrierte Spannungsregler	574
10.5	Schaltnetzteile	574
10.5.1	Sekundärgetaktete Schaltnetzteile (Drosselwandler)	575
10.5.1.1	Abwärtswandler	575
10.5.1.2	Aufwärtswandler	577
10.5.1.3	Invertierender Wandler	579
10.5.2	Primärgetaktete Schaltnetzteile	580
10.5.2.1	Sperrwandler	580
10.5.2.2	Eintaktdurchflußwandler	584
10.5.2.3	Gegentaktwandler	586
10.5.2.4	Resonanzwandler	588
10.5.3	Übersicht: Schaltnetzteile	591
10.5.4	Regelung von Schaltnetzteilen	593
10.5.4.1	Voltage-mode-Regelung	593
10.5.4.2	Current-mode-Regelung	593
10.5.4.3	Vergleich: voltage-mode vs. current-mode-Regelung	594
10.5.4.4	Dimensionierung des PI-Reglers	595
10.5.5	Wickelgüter	595
10.5.5.1	Berechnung von Speicherdrosseln	595
10.5.5.2	Berechnung von Hochfrequenztransformatoren	597
10.5.6	Leistungsfaktor-Vorregelung	600
10.5.6.1	Ströme, Spannungen und Leistung im Leistungsfaktor-Vorregler	601
10.5.6.2	Die Regelung des Leistungsfaktor-Vorreglers	602
10.5.7	Funkentstörung von Schaltnetzteilen	603
10.5.7.1	Funkstörstrahlung	604
10.5.7.2	Leitungsgebundene Störungen	604
10.5.7.3	Verminderung der asymmetrischen Funkstörspannungen	605
10.5.7.4	Verminderung der symmetrischen Funkstörspannungen	606
10.5.7.5	Vollständiges Funkentstörfilter	607
10.6	Formelzeichen	607
10.7	Weiterführende Literatur	608

A	Mathematische Grundlagen	610
A.1	Trigonometrische Funktionen	610
A.1.1	Eigenschaften	610
A.1.2	Summen und Differenzen von Winkelfunktionen	611
A.1.3	Summen und Differenzen im Argument	612
A.1.4	Vielfache des Arguments	612
A.1.5	Gewichtete Summe von Winkelfunktionen	613
A.1.6	Produkte von Winkelfunktionen	613
A.1.7	Dreifachprodukte	613
A.1.8	Potenzen von Winkelfunktionen	614
A.1.9	Winkelfunktionen mit komplexem Argument	614
A.2	Inverse Winkelfunktionen (Arkusfunktionen)	614
A.3	Hyperbelfunktionen	615
A.4	Differentialrechnung	615
A.4.1	Differentiationsregeln	615
A.4.2	Ableitungen einfacher Funktionen	616
A.5	Integralrechnung	616
A.5.1	Integrationsregeln	616
A.5.1.1	Integrale einfacher Funktionen	617
A.5.2	Integrale mit Winkelfunktionen	618
A.5.3	Integrale mit Exponentialfunktionen	620
A.5.4	Integrale mit inversen Winkelfunktionen	621
A.5.5	Bestimmte Integrale	621
A.6	Das Integral der Standard-Normalverteilung	624
B	Tabellen	627
B.1	Das SI-System	627
B.1.1	Dezimalvorsätze	628
B.1.2	SI-Einheiten der Elektrotechnik	629
B.2	Naturkonstanten	630
B.3	Formelzeichen des griechischen Alphabets	630
B.4	Einheiten und Definitionen technisch-physikalischer Größen	631
B.5	Englisch/Amerikanische Einheiten	632
B.6	Sonstige Einheiten	634
B.7	Lade- und Entladekurven	637
B.8	IEC-Normreihe	638
B.9	Farbcode zur Kennzeichnung von Widerständen	639
B.10	Parallelschaltung von Widerständen	640
B.11	Strombelastbarkeit von Leiterbahnen	641
B.12	Amerikanische Drahtstärken	642
B.13	Trockenbatterien	644
B.14	Bezeichnung der Radiofrequenzbereiche	645
B.15	Pegel	646
B.15.1	Absolute Pegel	646
B.15.1.1	Umrechnung von Leistungs- und Spannungspegeln	647
B.15.2	Relative Pegel	648
B.16	Kontaktbelegung ausgewählter Steckverbinder	649
B.16.1	VGA (9-polig)	649
B.16.2	VGA (15-polig)	649
B.16.3	9-zu-15-Stift-VGA-Kabel	650
B.16.4	SCART	650

B.16.5	SCART-Verbindungskabel	651
B.16.6	S-Video	651
B.16.7	Serielle Schnittstelle (9-polig)	652
B.16.8	Serielle Schnittstelle (25-polig)	652
B.16.9	Verbindungsschema serielle Schnittstelle	653
B.16.10	Cisco Console Port	654
B.16.11	Cisco Console Kabel (9-polig)	654
B.16.12	Cisco Console Kabel (25-polig)	655
B.16.13	Universal Serial Bus (USB)	655
B.16.14	Diodenstecker (3-polig)	656
B.16.15	Diodenstecker (5-polig)	656
B.16.16	Klinkenstecker mono	657
B.16.17	Klinkenstecker stereo	657
B.17	Telefontechnik	658
B.17.1	Mehrfrequenzwahl	658
B.17.2	TAE-Dosen Anschlußschema	658
B.17.3	ISDN-Dosen Anschlußschema	659
B.18	ASCII-Codierung	660
B.19	Chemische Elemente	661
B.20	Werkstoffe	664
C	Elemente der Installationstechnik	666
C.1	Schmelzsicherungen	666
C.2	Bezeichnung von Leitern	666
C.3	Schutzklassen	667
C.4	Farbkurzzeichen nach DIN IEC 757	667
C.5	Adernfarben in mehradrigen Leitungen	668
C.6	Typen-Kennzeichnung bei isolierten Leitungen	669
C.7	Leitungsausführungen	670
C.8	Schutzarten	672
C.9	Installationen in Feuchträumen	673
C.10	Spannungsabfall	673
C.11	Wechselschaltung, Kreuzschaltung	673
C.12	Übersicht: Bildzeichen der Installationstechnik	674
C.13	Schutzmaßnahmen	675
D	Abkürzungsverzeichnis	676
E	Schaltzeichen	745
	Sachwortverzeichnis deutsch	750
	Sachwortverzeichnis englisch	770

6.2.2	Hochpaß	264
6.2.3	Bandpaß	264
6.2.4	Bandsperre	265
6.2.5	Allpaß	265
6.3	Einfache Filter	266
6.3.1	Tiefpaß	266
6.3.1.1	Anstiegszeit	267
6.3.2	Frequenznormierung	268
6.3.2.1	Verstärkungsmaß in der Näherung	269
6.3.3	Hochpaß	269
6.3.3.1	Verstärkungsmaß in der Näherung	271
6.3.4	Filter höherer Ordnung	271
6.3.5	Bandpaß	273
6.3.6	Realisierungen von Filtern	275
6.4	Formelzeichen	275
6.5	Weiterführende Literatur	276
7	Signale und Systeme	277
7.1	Signale	277
7.1.1	Definitionen	277
7.1.2	Symmetrie-Eigenschaften von Signalen	278
7.2	FOURIER-Reihe	279
7.2.1	Trigonometrische Form	279
7.2.1.1	Symmetrie-Eigenschaften	281
7.2.2	Amplituden-Phasen-Form	281
7.2.3	Exponential-Form	281
7.2.3.1	Symmetrie-Eigenschaften	282
7.2.4	Übersicht: FOURIER-Reihendarstellung	283
7.2.5	Nützliche Integrale bei der Berechnung von FOURIER-Koeffizienten	284
7.2.6	Tabelle: FOURIER-Reihen	285
7.2.7	Anwendung der FOURIER-Reihen	287
7.2.7.1	Spektrum eines Rechtecksignals	287
7.2.7.2	Spektrum eines Sägezahnsignals	288
7.2.7.3	Spektrum eines zusammengesetzten Signals	289
7.3	Systeme	290
7.3.1	System-Eigenschaften	290
7.3.1.1	Lineare Systeme	290
7.3.1.2	Kausale Systeme	291
7.3.1.3	Zeitinvariante Systeme	291
7.3.1.4	Stabile Systeme	292
7.3.1.5	LTI-Systeme	292
7.3.2	Elementarsignale	292
7.3.2.1	Die Sprungfunktion	292
7.3.2.2	Die Rechteckfunktion	293
7.3.2.3	Der Dreieckimpuls	293
7.3.2.4	Der Gaußimpuls	293
7.3.2.5	Die Stoßfunktion (DIRAC-Funktion)	294
7.3.3	Verschiebung und Dehnung eines Zeitsignals	295
7.3.4	Systemreaktionen	296
7.3.4.1	Impulsantwort	297
7.3.4.2	Sprungantwort	297

	7.3.4.3	Systemantwort bei beliebigem Eingangssignal	298
	7.3.4.4	Rechenregeln der Faltung	299
	7.3.4.5	Übertragungsfunktion	300
	7.3.4.6	Berechnung der Systemantwort im Frequenzbereich	301
7.3.5		Berechnung der Impuls- und Sprungantwort	302
	7.3.5.1	Normierung von Schaltkreisen	302
	7.3.5.2	Impuls/Sprungantwort von Systemen erster Ordnung	303
	7.3.5.3	Impuls-/Sprungantwort von Systemen zweiter Ordnung	304
7.3.6		Ideale Systeme	307
	7.3.6.1	Das verzerrungsfreie System	307
	7.3.6.2	Der ideale Tiefpaß	308
	7.3.6.3	Der ideale Bandpaß	311
7.4		FOURIER-Transformation	312
	7.4.1	Prinzip	312
	7.4.2	Definition	313
	7.4.3	Darstellung der FOURIER-Transformierten	314
	7.4.3.1	Symmetrie-Eigenschaften	314
	7.4.4	Übersicht: Eigenschaften der FOURIER-Transformation	315
	7.4.5	FOURIER-Transformierte von Elementarsignalen	316
	7.4.5.1	Spektrum der DIRAC-Funktion	316
	7.4.5.2	Spektrum der Signum- und Sprungfunktion	317
	7.4.5.3	Spektrum des Rechteckimpulses	318
	7.4.5.4	Spektrum des Dreieckimpulses	319
	7.4.5.5	Spektrum des Gaußimpulses	319
	7.4.5.6	Spektrum harmonischer Zeitfunktionen	320
	7.4.6	Tabelle: FOURIER-Transformierte	321
	7.4.7	Von der LAPLACE-Transformierten zur FOURIER-Transformierten	324
7.5		LAPLACE-Transformation	325
	7.5.1	Prinzip	325
	7.5.2	Definition	325
	7.5.3	Kausale und stabile Funktionen	326
	7.5.4	Übersicht: Eigenschaften der LAPLACE-Transformation	327
	7.5.5	Laplace-Transformierte von Elementarsignalen	328
	7.5.6	Systemfunktionen im Bildbereich	330
	7.5.7	Pol-Nullstellen-Plan (PN-Plan)	331
	7.5.8	Von der FOURIER-Transformierten zur LAPLACE-Transformierten	335
	7.5.8.1	Berechnung der Systemantwort im Bildbereich	336
	7.5.9	Rücktransformation der Laplace-Transformierten	337
	7.5.9.1	Verwendung der Tabellen	337
	7.5.9.2	Partialbruchzerlegung	337
	7.5.9.3	Beispiel für die Ermittlung der Systemantwort unter Verwendung der Korrespondenztabelle	338
	7.5.10	Tabelle: LAPLACE-Transformierte von Zeitfunktionen	339
	7.5.11	Tabelle: Inverse Laplace-Transformierte von Bildfunktionen	343
7.6		Nichtlineare Systeme	347
	7.6.1	Definition	347
	7.6.2	Charakterisierung nichtlinearer Systeme	348
	7.6.2.1	Kennliniengleichung	348
	7.6.2.2	Klirrfaktor	349
	7.6.2.3	Intermodulationsabstand	350