
Wilfried Plaßmann • Detlef Schulz (Hrsg.)

Handbuch Elektrotechnik

Grundlagen und Anwendungen
für Elektrotechniker

6., neu bearbeitete Auflage

Mit 1747 Abbildungen und 287 Tabellen

Mathematik	1– 140
Physik	141– 192
Werkstoffkunde	193– 230
Elektrotechnik	231– 296
Elektronik	297– 424
Technische Kommunikation	425– 464
Datentechnik	465– 642
Automatisierungstechnik	643– 688
Regelungstechnik	689– 716
Messtechnik	717– 792
Energietechnik	793– 900
Nachrichtentechnik	901–1088
Signal- und Systemtheorie	1089–1128
Sachwortverzeichnis	1129–1143

Inhaltsverzeichnis

Mathematik

I	Arithmetik	1
1	Mengen	1
2	Aussageformen und logische Zeichen	1
2.1	Aussageformen	1
2.2	Logische Zeichen	1
2.3	Vollständige Induktion	2
3	Einteilung der Zahlen	2
4	Grundrechenarten	3
5	Grundlegende Rechenregeln	4
5.1	Buchstabenrechnen	4
5.2	Kehrwert, Quersumme	4
5.3	Teilbarkeitsregeln	4
5.4	Punktrechnung vor Strichrechnung	4
5.5	Potenzrechnung vor Punktrechnung	4
5.6	Grundgesetze der Addition und Multiplikation	5
5.7	Indizes, Summenzeichen, Produktzeichen	5
5.8	Binomische Formeln	5
5.9	IFakultäten, Binomialkoeffizienten und Pascalsches Dreieck	6
5.10	Binomischer Lehrsatz	6
6	Potenz- und Wurzelrechnung	7
6.1	Definition der Potenz	7
6.2	Regeln der Potenzrechnung	7
6.3	Definition der Wurzel	9
6.4	Regeln der Wurzelrechnung	9
7	Dezimalzahlen und Dualzahlen	11
7.1	Dezimalsystem	11
7.2	Dualsystem	11
7.3	Runden	12
8	Logarithmen	12
8.1	Definition des Logarithmus	12
8.2	Spezielle Basen	12
8.3	Regeln der Logarithmenrechnung	13
8.4	Zusammenhang von Logarithmen mit verschiedenen Basen	13
8.5	Dekadische Logarithmen	14
9	Ungleichungen	14
9.1	Definitionen und Rechenregeln	14
9.2	Absolutbetrag	15
9.3	Intervalle	15
10	Komplexe Zahlen	16
10.1	Algebraische Form	16
10.2	Trigonometrische Form	17
10.3	Addieren und Subtrahieren komplexer Zahlen	17
10.4	Multiplizieren komplexer Zahlen	18
10.5	Dividieren komplexer Zahlen	18
10.6	Potenzieren komplexer Zahlen	19
10.7	Radizieren komplexer Zahlen	19
10.8	Eulersche Formel	20
II	Gleichungen	20
1	Gleichungsarten	20
2	Äquivalente Umformungen	22
3	Lineare Gleichungen	22

4	Proportionen	23
5	Quadratische Gleichungen	23
5.1	Definitionen	23
5.2	Lösungsverfahren	24
5.2.1	Normalform	24
5.2.2	Allgemeine Formen	25
5.2.3	Zerlegung in Linearfaktoren	25
5.3	Satz von Viëta für quadratische Gleichungen	25
6	Algebraische Gleichungen höheren Grades	26
6.1	Kubische Gleichungen	26
6.2	Polynomdivision	27
6.3	Gleichungen vierten Grades	27
6.4	Gleichungen n -ten Grades	29
6.5	Satz von Viëta für Gleichungen n -ten Grades	29
7	Auf algebraische Gleichungen zurückföhrbare Gleichungen	30
7.1	Bruchgleichungen	30
7.2	Wurzelgleichungen	30
8	Transzendente Gleichungen	31
8.1	Exponentialgleichungen	31
8.2	Logarithmische Gleichungen	32
8.3	Trigonometrische Gleichungen	32
9	Lineare Gleichungssysteme	33
9.1	Definitionen	33
9.2	Zwei lineare Gleichungen mit zwei Variablen	33
9.3	Drei lineare Gleichungen mit drei Variablen	34
9.4	Matrizen und Determinanten	35
III	Planimetrie	40
1	Geraden und Strecken	40
2	Winkel	41
3	Projektion	42
4	Geometrische Örtter	43
5	Dreiecke	43
5.1	Allgemeine Dreiecke	43
5.2	Gleichschenklige Dreiecke	44
5.3	Gleichseitige Dreiecke	44
5.4	Rechtwinklige Dreiecke	44
5.5	Besondere Geraden, Strecken und Kreise	44
5.6	Flächensätze im rechtwinkligen Dreieck	46
6	Vierecke	48
6.1	Allgemeine Vierecke	48
6.2	Trapeze	48
6.3	Parallelogramme	49
6.4	Rhomben	49
6.5	Rechtecke	49
6.6	Quadrate	49
6.7	Drachen	50
6.8	Sehnenvierecke	50
6.9	Tangentenvierecke	50
7	Reguläre n-Ecke	50
8	Polygone	52
9	Kreise	52
9.1	Definitionen	52
9.2	Kreissectoren	53
9.3	Kreissegmente	53
9.4	Kreise und Geraden	53
9.5	Bogenmaß	54

10	Symmetrie	54
10.1	Punktsymmetrie	54
10.2	Achsensymmetrie	54
11	Ähnlichkeit	54
11.1	Zentrische Streckung	54
11.2	Strahlensätze	55
11.3	Ähnliche Figuren	55
IV	Stereometrie	56
1	Prismen	56
1.1	Allgemeine Prismen	56
1.2	Parallelepiped und Würfel	57
2	Zylinder	57
2.1	Allgemeine Zylinder	57
2.2	Gerade Kreiszylinder	57
2.3	Hohlzylinder	58
3	Pyramiden	58
3.1	Allgemeine Pyramiden	58
3.2	Gerade quadratische Pyramiden	59
4	Kegel	59
4.1	Allgemeine Kegel	59
4.2	Gerade Kreiskegel	59
5	Cavalierisches Prinzip	59
6	Kugeln	59
6.1	Definitionen	59
6.2	Kugelsegmente	61
6.3	Kugelsektoren	61
6.4	Kugelschichten	61
V	Funktionen	62
1	Definition und Darstellungen von Funktionen	62
1.1	Definitionen	62
1.2	Funktionsgleichung	62
1.3	Graph einer Funktion	63
1.4	Wertetabelle einer Funktion	63
2	Verhalten von Funktionen	63
2.1	Monotone Funktionen	63
2.2	Symmetrische Funktionen	64
2.3	Beschränkte Funktionen	64
2.4	Injektive Funktionen	64
2.5	Surjektive Funktionen	65
2.6	Bijektive Funktionen	65
2.7	Periodische Funktionen	65
2.8	Umkehrfunktionen	65
2.9	Reelle und komplexe Funktionen	66
3	Einteilung der elementaren Funktionen	66
4	Ganze rationale Funktionen	67
4.1	Konstante Funktionen	67
4.2	Lineare Funktionen	68
4.3	Quadratische Funktionen	69
4.4	Kubische Funktionen	73
4.5	Ganze rationale Funktionen n -ten Grades	73
4.6	Horner-Schema	74
5	Gebrochene rationale Funktionen	75
5.1	Nullstellen, Pole, Asymptoten	75
5.2	Partialbruchzerlegung	78
6	Irrationale Funktionen	79

7	Transzendente Funktionen	80
7.1	Exponentialfunktionen	80
7.2	Logarithmusfunktionen	81
VI	Trigonometrie	82
1	Definition der trigonometrischen Funktionen	82
2	Trigonometrische Funktionen für beliebige Winkel	83
3	Beziehungen für den gleichen Winkel	84
4	Graphen der trigonometrischen Funktionen	85
5	Reduktionsformeln	86
6	Additionstheoreme	86
7	Sinussatz und Kosinussatz	87
8	Arkusfunktionen	88
VII	Analytische Geometrie	90
1	Koordinatensysteme	90
1.1	Kartesisches Koordinatensystem der Ebene	90
1.2	Polarkoordinatensystem der Ebene	90
1.3	Zusammenhang zwischen kartesischen und Polarkoordinaten	91
1.4	Kartesisches Koordinatensystem des Raums	92
2	Geraden	92
2.1	Geradengleichungen	92
2.2	Abstände	94
3	Kreise	95
3.1	Kreisgleichungen	95
3.2	Berechnung von Kreisen	96
4	Kugeln	97
5	Kegelschnitte	97
5.1	Ellipsen	98
5.2	Hyperbeln	99
5.3	Parabeln	101
5.4	Anwendungen	102
6	Vektoren	103
6.1	Definitionen	103
6.2	Multiplikation eines Vektors mit einem Skalar	103
6.3	Addition und Subtraktion zweier Vektoren	103
6.4	Komponentendarstellung von Vektoren in der Ebene	104
6.5	Komponentendarstellung von Vektoren im Raum	104
6.6	Skalarprodukt	105
6.7	Vektorprodukt	106
6.8	Spatprodukt	106
VIII	Differential- und Integralrechnung	107
1	Folgen	107
1.1	Grundbegriffe	107
1.2	Arithmetische Folgen	108
1.3	Geometrische Folgen	108
1.4	Grenzwert einer Folge	108
1.5	Tabelle einiger Grenzwerte	109
1.6	Divergente Folgen	109
2	Reihen	109
2.1	Definitionen	109
2.2	Arithmetische Reihen	110
2.3	Geometrische Reihen	111
2.4	Harmonische Reihen	111
2.5	Alternierende Reihen	112
3	Grenzwerte von Funktionen	112
3.1	Grenzwert an einer endlichen Stelle	112

3.2	Einseitige Grenzwerte	112
3.3	Grenzwert im Unendlichen	113
3.4	Rechenregeln für Grenzwerte	113
3.5	Unbestimmte Ausdrücke	113
3.6	Stetigkeit einer Funktion	114
3.7	Unstetigkeitsstellen	114
4	Ableitung einer Funktion	115
4.1	Definitionen	115
4.2	Differentiationsregeln	116
4.3	Höhere Ableitungen	118
4.4	Ableitungen einiger algebraischer Funktionen	118
4.5	Ableitungen einiger transzendenter Funktionen	118
4.5.1	Trigonometrische Funktionen	118
4.5.2	Logarithmusfunktionen	119
4.5.3	Exponentialfunktionen	119
4.5.4	Zusammenfassende Übersicht	120
4.6	Sekanten und Tangenten	120
4.7	Extremwerte von Funktionen	120
4.8	Krümmungsverhalten von Funktionen	121
4.9	Wendepunkte von Funktionen	121
4.10	Kurvendiskussion	122
4.11	Anwendungsbeispiele	122
4.12	Näherungsverfahren zur Nullstellenbestimmung	123
4.12.1	Regula falsi	123
4.12.2	Newtonsches Verfahren	124
5	Integralrechnung	124
5.1	Unbestimmtes Integral	124
5.2	Integrationsregeln	125
5.3	Unbestimmte Integrale einiger algebraischer Funktionen	127
5.4	Unbestimmte Integrale einiger transzendenter Funktionen	127
5.5	Bestimmtes Integral	127
5.6	Hauptsatz der Differential- und Integralrechnung	128
5.7	Eigenschaften des bestimmten Integrals	128
5.8	Einige Anwendungen der Integralrechnung	129
6	Funktionenreihen	131
6.1	Definitionen	131
6.2	Potenzreihen	132
6.3	Fourier-Reihen	133
Anhang		
A	Symbole und Bezeichnungsweisen	137
B	Das griechische Alphabet	139

Physik

I	Einführung	141
1	Physikalische Größen	141
1.1	Skalare	141
1.2	Vektoren	141
2	SI – System	141
II	Mechanik	142
1	Kinematik des Massenpunktes	142
1.1	Eindimensionale Bewegungen	142
1.1.1	Geschwindigkeit	142
1.1.2	Beschleunigung	143
1.1.3	Freier Fall	143
1.1.4	Senkrechter Wurf	144
1.2	Zusammengesetzte Bewegungen	144
1.2.1	Schiefer Wurf	145

1.3	Kreisbewegung	146
1.3.1	Bahngeschwindigkeit	146
1.3.2	Winkelgeschwindigkeit	146
1.3.3	Kreisfrequenz	146
1.3.4	Winkelbeschleunigung	146
2	Dynamik	147
2.1	Newtonsche Axiome	147
2.2	Kraft	147
2.2.1	Zerlegung und Zusammensetzung von Kräften	147
2.2.2	Schiefe Ebene	148
2.2.3	Kräfte bei Kreisbewegungen	149
2.3	Impuls	150
2.3.1	Impulserhaltungssatz	150
2.4	Arbeit, Leistung, Wirkungsgrad und Energie	150
2.4.1	Arbeit	150
2.4.2	Leistung, Wirkungsgrad	151
2.4.3	Energie	152
2.5	Stoßprozesse	152
2.5.1	Elastischer Stoß	152
2.5.2	Inelastischer Stoß	152
2.6	Rotation	153
2.6.1	Drehmoment	153
2.6.2	Massenmittelpunkt, Schwerpunkt	153
2.6.3	Drehimpuls	154
2.6.4	Trägheitsmoment	154
2.6.5	Rotationsenergie	155
2.7	Gravitation	156
3	Elastische Verformung fester Körper	156
4	Mechanik der ruhenden Flüssigkeiten und Gase	157
4.1	Druck	157
4.2	Kompressibilität	157
4.3	Volumenausdehnung	157
4.4	Hydrostatischer Druck in Flüssigkeiten	157
4.5	Schweredruck in Gasen	158
4.6	Auftrieb	158
5	Hydrodynamik	158
5.1	Kontinuitätsgleichung	158
5.2	Bernoulli-Gleichung	158
5.3	Innere Reibung	159
III	Thermodynamik	159
1	Grundbegriffe	159
2	Temperatur	159
2.1	Einheiten	159
2.2	Temperaturmessung	160
3	Thermische Ausdehnung	160
3.1	Feste Stoffe	160
3.2	Flüssigkeiten	160
3.3	Gase	161
4	Ideale Gase	161
4.1	Allgemeine Zustandsgleichung idealer Gase	161
4.2	Kinetische Gastheorie	162
4.3	Wärmeenergie	162
4.4	Zustandsänderungen idealer Gase	163
4.5	Kreisprozesse	164
5	Wärmeübertragung	164
5.1	Wärmeleitung	164
5.2	Wärmeströmung	165
5.3	Wärmestrahlung	165
IV	Schwingungen	165
1	Freie ungedämpfte harmonische Schwingungen	165
2	Gedämpfte Schwingungen	166

3	Erzwungene Schwingungen	166
4	Überlagerung harmonischer Schwingungen	167
4.1	Schwingungsrichtung parallel zueinander	167
4.2	Schwingungsrichtung senkrecht zueinander	168
V	Wellen	169
1	Harmonische Wellen	169
1.1	Ausbreitung	169
1.2	Interferenz	170
2	Huygensches Prinzip	171
2.1	Reflexion	171
2.2	Brechung	172
2.3	Beugung	172
3	Dopplereffekt	173
VI	Akustik	174
1	Schallausbreitung	174
2	Reflexion, Transmission, Absorption	175
3	Ultraschall	175
VII	Optik	176
1	Eigenschaften des Lichtes	176
2	Geometrische Optik	176
2.1	Reflexion des Lichtes	176
2.2	Brechungsgesetz	178
2.3	Optische Geräte	182
3	Wellenoptik	184
3.1	Interferenz	184
3.2	Beugung	185
4	Photometrie	186
4.1	Strahlungsphysikalische Größen	187
4.2	Lichttechnische Größen	188
5	Licht als Korpuskel	189
VIII	Anhang	191
A	Physikalische Größen und Einheiten	191
B	Zahlenwerte physikalischer Größen	192

Werkstoffkunde

I	Stoffe	193
1	Eigenschaften der Stoffe	193
2	Atombau und Periodensystem	193
3	Aufbau der festen Körper	196
4	Chemische Grundzusammenhänge	198
5	Elektrochemie	200
II	Elektrische Leitfähigkeit	201
1	Leitungsmechanismus	201
2	Isolator	202
3	Halbleiter	202
4	Normalleiter	203
5	Supraleiter	203
6	Halleffekt	204

III	Elektrische Leiter	205
1	Normalleiter	205
2	Halbleiter	206
3	Supraleiter	209
IV	Magnetische Leitfähigkeit	209
1	Modellvorstellung	209
2	Verhalten von Materie im Magnetfeld	210
3	Magnetisierung	211
4	Magnetisierungskurve	211
5	Permeabilität	212
V	Magnetika	214
1	Metalloxide (Ferrite)	214
2	Weichmagnetika	214
3	Hartmagnetika (Dauermagnete)	220
VI	Dielektrische Eigenschaften	223
1	Modellvorstellungen zur dielektrischen Polarisation	223
2	Dielektrische Materialeinteilung	224
3	Elektrische Materialeinteilung	224
VII	Dielektrika	226
1	Natürliche anorganische Dielektrika	226
2	Natürliche organische Dielektrika	228
3	Künstliche anorganische Dielektrika	228
4	Künstliche organische Dielektrika	229
5	Silikone	230

Grundlagen der Elektrotechnik

I	Grundbegriffe	231
1	Aufbau der Atome	231
2	Ladungsträger	231
3	Spannung	231
4	Strom	231
4.1	Bewegung von Ladungsträgern	231
4.2	Stromstärke	232
4.3	Stromdichte	232
5	Das Ohmsche Gesetz	232
6	Spezifischer Widerstand, Leitfähigkeit	232
7	Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes von Metallen	233
II	Der Gleichstromkreis	234
1	Zählpeilsysteme	234
2	Kirchhoffsche Gesetze	234
2.1	Knotenregel	234
2.2	Maschenregel	234
3	Schaltung von Widerständen	235
3.1	Reihenschaltung	235
3.2	Parallelschaltung	235
3.3	Stern-Dreieck Umwandlung	235
3.4	Messbereichserweiterung	236
3.4.1	Voltmeter	236
3.4.2	Amperemeter	237

4	Reale Spannungsquelle	237
4.1	Kombination von Spannungsquellen	237
4.1.1	Reihenschaltung	238
4.1.2	Parallelschaltung	238
5	Ersatzstromquelle	238
6	Netzwerkberechnung	238
6.1	Gemischte Schaltungen	239
6.2	Überlagerungsverfahren	239
6.3	Ersatzspannungsquelle	240
6.4	Nichtlineare Gleichstromkreise	240
7	Energie, Leistung, Wirkungsgrad	241
7.1	Leistungsanpassung	241
7.2	Leistungsverlust auf Leitungen	242
7.3	Wirkungsgrad	242
7.4	Umwandlung elektrischer Energie	242
7.4.1	Wärme	242
7.4.2	Mechanische Energie	242
III	Das Elektrische Feld	243
1	Grundgrößen	243
1.1	Kräfte zwischen Ladungen	243
1.2	Feldstärke	244
1.3	Feldlinien	244
1.4	Potential, Spannung	244
1.5	Äquipotentiallinien	245
1.6	Elektrischer Fluss	245
1.7	Energie geladener Teilchen im elektrischen Feld	245
2	Materie im elektrischen Feld	246
2.1	Leiter	246
2.2	Nichtleiter	246
3	Kondensatoren	246
3.1	Kapazität	247
3.1.1	Plattenkondensator	247
3.1.2	Spezielle Kondensatoren	247
3.2	Schaltungen mit Kondensatoren	248
3.2.1	Reihenschaltung	248
3.2.2	Parallelschaltung	248
3.2.3	Gemischte Schaltungen	249
3.3	Energie des elektrostatischen Feldes	249
3.4	Laden und Entladen eines Kondensators	250
3.5	RC-Reihenschaltung	251
IV	Das Magnetische Feld	252
1	Feldlinien	252
1.1	Dauermagnet	252
1.2	Stromdurchflossene Leiter	252
1.3	Stromdurchflossene Spule	252
1.4	Magnetfeld der Erde	253
2	Magnetische Grundgrößen	253
2.1	Feldstärke	253
2.2	Fluss, Flussdichte	256
3	Kräfte im Magnetfeld	257
3.1	Kräfte auf bewegliche Ladungsträger	257
3.2	Stromdurchflossener Leiter	257
3.3	Magnetisches Moment	258
3.4	Kräfte zwischen zwei parallelen Leitern	258
3.5	Hall-Effekt	259
4	Energie des Magnetfeldes	260
5	Materie im Magnetfeld	260
5.1	Diamagnetismus	261
5.2	Paramagnetismus	261
5.3	Ferromagnetismus	262
5.3.1	Magnetisierungskurve Hysterese	262
5.3.2	Verlauf der Permeabilität	263

5.3.3	Temperaturabhängigkeit	263
5.3.4	Magnetostriktion	264
5.4	Antiferromagnetismus	264
5.5	Ferrimagnetismus	264
6	Magnetische Kreise	264
6.1	Magnetische Spannung	264
6.2	Magnetischer Widerstand	265
6.3	Unverzweigte Kreise	265
6.4	Verzweigte Kreise	266
V	Induktion	267
1	Induktion bei Änderung der Fläche	267
2	Induktion bei Änderung des Magnetfeldes	269
3	Die Induktivität einer Spule	269
3.1	Selbstinduktion	269
3.2	Gegeninduktion	270
3.3	Energie im Magnetfeld einer Spule	271
3.4	Ein- und Ausschaltvorgänge	271
3.5	Zusammenschalten von Induktivitäten	272
VI	Wechselstrom	272
1	Grundbegriffe des Wechselstroms	272
1.1	Erzeugung einer sinusförmigen Wechselspannung	272
1.2	Phasenverschiebung	273
1.3	Effektivwert	273
1.4	Darstellungsarten	274
1.4.1	Zeigerdarstellung von Sinusgrößen	274
1.4.2	Darstellung von Sinusgrößen in der komplexen Zahlenebene	274
2	Grundschaltelemente im Wechselstromkreis	275
2.1	Ohmscher Widerstand	275
2.2	Kapazität	275
2.3	Spule	276
3	Schaltungen von Wechselstromwiderständen	277
3.1	Reihenschaltung von Wechselstromwiderständen	277
3.1.1	Wirkwiderstand und Induktivität	277
3.1.2	Wirkwiderstand und Kapazität	278
3.1.3	Wirkwiderstand, Induktivität und Kapazität	279
3.2	Parallelschaltung von Wechselstromwiderständen	281
3.2.1	Wirkwiderstand und Induktivität	281
3.2.2	Wirkwiderstand und Kapazität	282
3.2.3	Wirkwiderstand, Induktivität und Kapazität	283
3.3	Gemischte Schaltungen	284
4	Passive Filter	285
4.1	Hochpassschaltung mit <i>RC</i> - und <i>RL</i> -Glied	285
4.2	Tiefpassschaltung mit <i>RC</i> - und <i>RL</i> -Glied	286
4.3	Bandpassschaltung	287
5	Schwingkreise	287
5.1	Reihenresonanz	288
5.2	Parallelresonanz	288
6	Leistung und Arbeit im Wechselstromkreis	288
6.1	Leistung und Arbeit bei Phasengleichheit von Spannung und Strom	288
6.2	Leistung und Arbeit bei Phasenverschiebung von Spannung und Strom	289
6.3	Leistung in komplexer Schreibweise	290
6.4	Leistungsfaktor	290
VII	Drehstrom	291
1	Erzeugung von mehrphasigem Wechselstrom	291
2	Phasenverkettung	291
2.1	Sternschaltung	291
2.2	Dreieckschaltung	292
3	Leistung des Dreiphasenstroms	293
4	Das unsymmetrische Dreiphasen- system	293
4.1	Das unsymmetrische Dreileiternetz	293
4.2	Das unsymmetrische Vierleiternetz	294

Elektronik

I	Leitungsmechanismen bei Halbleitern, pn-Übergang	297
	1 Einführung in die Halbleiterphysik	297
	2 Der pn-Übergang	299
II	Dioden	300
	1 Kennlinien	300
	2 Kenndaten und Grenzwerte	301
	3 Kennzeichnung von Halbleiter-Bauelementen	304
	4 Diodenarten	305
	4.1 Kapazitätsdioden	306
	4.2 Schalterdioden	307
	4.3 Schottky-Dioden	308
	4.4 Gleichrichter-Dioden	308
	4.5 Z-Dioden	309
	5 Anwendungsschaltungen	310
	5.1 Begrenzerschaltungen	310
	5.2 Gleichrichter	311
	5.2.1 Einweggleichrichter (M1)	311
	5.2.2 Mittelpunktschaltung (M2)	313
	5.2.3 Brückengleichrichterschaltung (B2)	314
	5.3 Spannungsvervielfacher	316
	5.4 Diode als Konstantspannungsquelle (Z-Diode)	317
III	Mehrschichtdioden und -trioden	318
	1 Vierschichtdioden	319
	2 Thyristoren	320
	3 Diac	323
	4 Triac	324
	5 Schutz der Dioden und Trioden	324
	6 Zündmethoden	325
IV	Transistoren	327
	1 Bipolare Transistoren	327
	1.1 Transistoreffekt	327
	1.2 Transistorkennlinien	328
	1.3 Kenn- und Grenzwerte des Transistors	330
	2 Feldeffekttransistoren (FET)	334
	2.1 Aufbau und Wirkungsweise des Sperrschicht-FET	334
	2.2 Aufbau und Wirkungsweise des MOSFET	336
	2.3 Kennlinien von FET	337
	2.4 Kennwerte von FET	338
V	Besondere Halbleiter-Bauelemente	343
	1 Unijunction-Transistor (Doppelbasisdiode)	343
	2 Darlington-Transistor	344
	3 VMOS-Transistoren	345
	4 SIPMOS-Transistoren	346
	5 IGBT	347
VI	Analoge Verstärker	349
	1 Bipolarer Transistor als Verstärker	349
	1.1 Grundsaltungen	351
	1.2 Arbeitspunktstabilisierung	353
	1.3 Emitterschaltungen	357
	1.4 Kollektorschaltungen	359
	1.5 Basisschaltung	360

2	Feldeffekt-Transistor als Verstärker	361
2.1	Arbeitspunkteinstellung und -stabilisierung	361
2.2	Grundsaltungen von FET	363
2.2.1	Sourceschaltung	364
2.2.2	Drainschaltung	366
2.2.3	Gateschaltung	367
2.3	Weitere Anwendungen	368
3	Mehrstufige Verstärker	370
VII	Endstufen	375
1	Betriebsarten	375
2	Schaltungen	375
VIII	Operationsverstärker	380
1	Einführung	380
2	Differenzverstärker	380
3	Grundlagen des OP	381
4	Operationsverstärker als Verstärker	384
4.1	Verstärker mit frequenzunabhängiger Gegenkopplung	384
4.2	Verstärker mit frequenzabhängiger Gegenkopplung	387
4.3	OP als Leistungsverstärker	389
4.4	Aktive Filterschaltungen	390
IX	Elektronische Schalter, Kippstufen	391
1	Transistor als Schalter	391
2	Kippschaltungen mit Transistoren	395
2.1	Bistabile Kippstufe	395
2.2	Monostabile Kippstufe	396
2.3	Astabile Kippstufe	397
2.4	Triggerschaltungen	397
3	Operationsverstärker als Schalter	398
4	Kippschaltungen mit Operationsverstärker	399
4.1	Triggerschaltungen mit Operationsverstärker	399
4.2	Astabile Kippstufe mit Operationsverstärker	400
4.3	Monostabile Kippstufe mit Operationsverstärker	401
4.4	Bistabile Kippstufe mit Operationsverstärker	401
5	Zeitgeber 555	402
6	Trigger TCA 345 A	403
X	Oszillatoren	403
1	Allgemeines	403
2	Sinusgeneratoren (RC-Oszillatoren)	404
3	Funktionsgeneratoren	406
XI	Schaltungstechniken	407
1	Integrierte Schaltungen	407
2	SMD-Technik	409
XII	Optoelektronik	411
1	Grundsätzliche Überlegungen	411
2	Optoelektronische Bauelemente	411
2.1	Fotowiderstand (LDR – light dependent resistor)	411
2.2	Fotodiode und Fotoelement	412
2.3	Fototransistoren	414
2.4	Lumineszenzdioden und Flüssigkristalle	415
3	Anzeigeeinheiten	417
4	Signalübertragung mit Optokoppler	418
5	Faseroptische Übertragungsmittel	419

XIII	Analog-Digital-Wandler	419
1	Grundlagen	419
2	Spannungs-Frequenz-Wandler	420
3	Sägezahnverfahren	420
4	Dual-Slope-Verfahren	420
5	Flash-Wandler	421
6	Wandler nach dem Wägeverfahren	421
7	Integrierte Wandler	422
XIV	Digital-Analog-Wandler	422
1	Grundlagen	422
2	D/A-Wandler-Varianten	422
3	Integrierte Wandler	423

Technische Kommunikation/Technisches Zeichnen

I	Grundlagen der zeichnerischen Darstellung	425
1	Zeichengeräte	425
2	Normen für Technische Zeichnungen	426
3	Normteile und Konstruktionselemente	426
4	Nutzen der Normung	438
II	Schaltungsunterlagen	438
1	Schaltzeichen nach DIN	441
2	Elektrische Betriebsmittel	444
3	Schaltungsunterlagen der Energietechnik	446
4	Schaltungsunterlagen der Elektronik	449
4.1	Allgemeines	450
4.2	Schaltzeichen nach DIN 40900 Teil 12 Binäre Elemente	450
4.3	Entwurf von Schaltungen	453
4.3.1	Verdrahtungsplan mit Universalplatinen	453
4.3.2	Entwurf und Herstellung gedruckter Schaltungen	453
5	Projektierung	455
III	Schaltungssynthese und -analyse	455
1	Beispiele aus der Elektrotechnik	455
2	Beispiele aus der Elektronik	455
IV	CAD-Technik	458
1	Allgemeines	458
2	Hardware und Software	458
3	Erstellen von Schaltplänen	458
4	Erstellen von Layouts	458
5	Anwendungen in der Elektronik	461
6	Auswahl von CAD-Systemen	461

Datentechnik

I	Digitaltechnik	465
1	Grundbegriffe der Digitaltechnik	465
2	Logische Grundschaltungen	466
2.1	Grundverknüpfungen.	466
2.1.1	NICHT-Verknüpfung	466
2.1.2	UND-Verknüpfung	466
2.1.3	ODER-Verknüpfung	467
2.2	Realisierungsmöglichkeiten logischer Verknüpfungen.	467
3	Schaltalgebra	469
3.1	Allgemeines	469
3.2	Normalform einer binären Funktion	469
3.2.1	Disjunktive Normalform.	469
3.2.2	Konjunktive Normalform	470
3.2.3	Umwandeln der Gleichung in Schaltzeichen	470
3.2.4	Schaltungsminimierung mit Hilfe der Schaltalgebra	470
3.2.5	Umsetzung in NAND- oder NOR-Technik	470
3.2.6	KV-Tabelle	473
3.2.7	Analyse logischer Schaltungen.	473
3.2.8	Synthese logischer Schaltungen	474
4	Zahlensysteme in der Digital- und Datenverarbeitung	476
4.1	Dualsystem	476
4.1.1	Bildung der Dualzahlen und Umwandlung in Dezimalzahlen	476
4.1.2	Umwandlung dezimal nach dual	476
4.2	Hexadezimalsystem	478
4.3	Rechnen mit Dualzahlen	478
4.4	Zahlen in Rechenanlagen.	478
4.4.1	Darstellung von Zahlen	478
4.4.2	Einer- und Zweierkomplement.	480
4.4.3	Subtraktion mit Hilfe des Komplements	480
5	Codes	481
5.1	Allgemeines	481
5.2	Binär-Code	481
5.3	BCD-Code.	481
5.3.1	BCD-Dual-Code	481
5.3.2	3-Excess-Code	481
5.3.3	Aiken-Code	482
5.4	Gray-Code.	482
5.5	Codierung alphanumerischer Zeichen.	483
5.6	Fehlererkennung und Redundanz.	484
5.6.1	Einfache Prüfung auf Parität.	484
5.6.2	Kreuzsicherungsprüfung.	485
5.6.3	Hamming-Code	485
6	Digitale Grundschaltungen	486
6.1	Allgemeines	486
6.2	Schaltnetze	486
6.2.1	Rechenetze	486
6.2.1.1	Halbaddierer	486
6.2.1.2	Volladdierer	486
6.2.1.3	Serieller n-Bit-Addierer.	487
6.2.1.4	Paralleler n-Bit-Addierer	488
6.2.1.5	Subtrahierer	488
6.2.1.6	Addierer für BCD-Dualzahlen	489
6.2.2	Komparatoren.	489
6.2.2.1	Einfacher Komparator	489
6.2.2.2	Komparator mit Größer- und Kleiner-Vergleich	490
6.2.3	Codewandler und Decoder.	491
6.2.3.1	Codewandler	491
6.2.3.2	1-aus-n-Decoder	492
6.2.4	Multiplexer und Demultiplexer	492
6.2.4.1	Multiplexer.	493
6.2.4.2	Demultiplexer	494

6.3	Schaltwerke	494
6.3.1	Speicherbausteine	494
6.3.1.1	Allgemeines Flipflop	494
6.3.1.2	RS-Flipflop	495
6.3.1.3	Flipflops mit dominierenden Eingängen	495
6.3.1.4	D-Flipflop	495
6.3.1.5	JK-Flipflop	496
6.3.1.6	Master-Slave-JK-Flipflop	496
6.3.1.7	T-Flipflop	497
6.3.2	Grundsaltungen aus Speicherbausteinen	497
6.3.2.1	Register	497
6.3.2.2	Schieberegister	498
6.3.2.3	Frequenzteiler	499
6.3.2.4	Zähler	500
6.3.2.4.1	Asynchroner Zähler	500
6.3.2.4.2	Asynchroner BCD-Vorwärtszähler	502
6.3.2.4.3	Synchroner Dual-Vorwärts-1-Zähler	503
6.3.2.4.4	Zähler für mehrere Decaden	503
6.4	Sonderschaltungen	504
6.4.1	Monoflops	504
6.4.2	Astabile Kippstufen	505
II	Integrierte Schaltkreise der Digitaltechnik	506
1	Allgemeines	506
2	Umgang mit integrierten Schaltungen	507
3	Daten und Begriffe der Logikschaltungen	507
3.1	Grenz- und Kenndaten	507
3.2	Pegel	507
3.3	Störsicherheit	508
3.4	Lasteinheit	508
3.5	Temperaturbereich	508
3.6	Gatterlaufzeit	509
3.7	Verlustleistung	509
4	TTL-Familie	510
4.1	Eigenschaften und Kenndaten	510
4.2	Standard-TTL	510
4.3	Schaltungen mit 3-state	513
4.4	Schotky-TTL und Low-Power-Schotky	514
5	Emittergekoppelte Logik	514
6	Integrierte MOS-Schaltungen	514
6.1	NMOS- und PMOS-Technik	515
6.2	CMOS	515
6.2.1	4000-Serie	515
6.2.2	CMOS-Schalter	517
6.2.3	High-Speed-CMOS	518
6.2.4	BICMOS	518
7	Interfaceschaltungen	519
8	Anwendungsspezifische integrierte Schaltungen	519
8.1	Allgemeines	519
8.2	Kundenspezifische IC's	520
8.3	Programmierbare Logikbausteine	521
8.3.1	PROM	521
8.3.2	PAL	521
8.3.3	GAL	525
8.3.4	pLSI, ispLSI	528
9	Gehäuse	531
III	Mikrocomputertechnik	532
1	Komponenten eines Mikrocomputers	532
2	Mikroprozessoren	532
2.1	Allgemeines	532
2.2	Architektur	532
2.3	Übersicht gängiger Mikroprozessoren	534

2.4	8-Bit-Mikroprozessoren	534
2.4.1	8085-CPU	534
2.4.2	Beispiel Z80 CPU	542
2.5	16-Bit-Prozessoren	545
2.5.1	8086/80286	545
2.5.2	Adressenbildung	547
3	Halbleiterspeicher	548
3.1	Allgemeines	548
3.2	Kenndaten und Technologie	548
3.3	Bedeutung der Anschlüsse	549
3.4	Organisation und Aufbau	549
3.4.1	Bitorganisierter und wortorganisierter Speicher	550
3.4.2	Speicher mit Adressenzwischenspeicher	550
3.5	Zeitverhalten	551
3.6	Speichertypen	552
3.6.1	Festwertspeicher	552
3.6.1.1	Masken-ROM	553
3.6.1.2	PROM	553
3.6.1.3	EPROM	553
3.6.1.4	EEPROM	555
3.6.1.5	Flash-EPROM	556
3.6.2	Schreib-Lesespeicher	557
3.6.2.1	SRAM	557
3.6.2.2	NVRAM	558
3.6.2.3	DRAM	559
3.6.2.4	PSRAM	560
3.7	Speichererweiterung	560
3.8	Zentralspeicher	561
4	Peripheriebausteine	562
4.1	Allgemeines	562
4.2	BUS-Treiber	562
4.3	Einfache E-/A-Bausteine für den parallelen Betrieb	562
4.4	Programmierbare Schnittstellen- bausteine	564
4.5	Zeitgeberbausteine	569
4.6	Programmierbarer E/A-Baustein mit Speicher und Zeitgeber	571
4.7	Eingabe-Ausgabe-Bausteine für den seriellen Betrieb	573
4.7.1	Allgemeines	573
4.7.2	USART	576
4.8	Bausteine mit Sonderfunktionen	579
5	Mikrocontroller	580
5.1	Allgemeines	580
5.2	8-Bit-Mikrocontroller	581
5.2.1	Funktionsbeschreibung des MC 8051	581
5.2.2	Ein-/Ausgabeeinheit	584
5.2.3	RESET-Schaltung	584
5.2.4	Taktgenerator	584
5.2.5	Stromaufnahme	584
5.2.6	TIMER	585
5.2.7	Unterbrechungssystem	586
5.2.8	Speicher	587
5.2.9	Serielle Schnittstelle	588
5.3	16-Bit-Mikrocontroller	589
6	Maschinensprache	591
6.1	Allgemeines	591
6.2	Maschinencode	591
6.3	Befehlsaufbau	592
6.4	Befehlsdarstellung	592
6.5	Befehle	592
6.5.1	Befehlsfunktionen	592
6.5.2	Adressierungsarten	596
6.6	Befehlszyklus und Befehlszeiten	597
6.6.1	Befehlszyklus	597
6.6.2	Befehlszeiten	599
7	Befehlsvorrat	599
8	Hinweise zur Programmierung und Programmbeispiele	602

IV	Computertechnik	603
1	Komponenten eines Computers	603
2	Massenspeicher	603
2.1	Magnetplatten	603
2.1.1	Diskette und Diskettenlaufwerk	603
2.1.2	Festplatte und Festplattenlaufwerk	607
2.1.3	Magnetbandgeräte	608
2.2	CD-ROM- und CD-Laufwerk	608
3	Eingabegeräte	609
3.1	Tastatur	609
3.2	Maus	610
4	Ausgabegeräte	610
4.1	Datensichtgeräte	610
4.1.1	Monitor	610
4.1.2	LCD-Bildschirm	613
4.2	Drucker	613
4.2.1	Typenradprinter	613
4.2.2	Matrixdrucker	613
4.2.3	Tintenstrahldrucker	613
4.2.4	Laserdrucker	613
V	Programmiertechnik	614
1	Programmiersprachen	614
1.1	Assembler	614
1.2	ADA	614
1.3	ALGOL	615
1.4	BASIC	615
1.5	C	615
1.6	FORTRAN	615
1.7	PASCAL	615
1.8	PL/M	615
2	Grundlagen der Programmierung	616
2.1	Interpreter	616
2.2	Compiler	616
2.3	Editor	616
2.4	Integrierte Entwicklungsumgebung	616
2.5	Methoden der Programmentwicklung	617
2.6	Problembeschreibung	617
2.7	Top-Down-Methode	617
2.8	Bottom-Up-Methode	617
2.9	Bewertung der Methoden	617
2.10	Programm-Test	618
VI	Datenkommunikation	618
1	Einführung	618
1.1	Warum Datenkommunikation?	619
1.2	Geschichte der Datenkommunikation	619
2	Computernetzwerke	620
2.1	Peer-to-Peer-Netz	620
2.2	Client/Server-Netz	620
3	Einteilung von Netzwerken	620
3.1	Ausdehnung	620
3.2	Dienstarten und Verbindungen	621
3.2.1	Verbindungsorientierter Dienst	621
3.2.2	Kanalvermittlung	621
3.2.3	Verbindungsloser Dienst	621
3.2.4	Punkt-zu-Punkt-Kanäle	621
3.2.5	Rundsendekanäle	621
3.3	Basisband – Breitband	622
3.4	FDM – DWDM – TDM	622
4	Netzwerk-Topologien	623
4.1	Sternnetz	623
4.2	Busnetz	623
4.3	Ringnetz	624

4.4	Baumnetz	624
4.5	Vollverbindung	624
4.6	Mischformen	624
4.6.1	Stern-Stern-Netz	624
4.6.2	Stern-Bus-Netz	625
4.7	Sonderformen	625
4.7.1	Linien-Netz	625
4.7.2	Ring-Netz	625
5	Das OSI-Referenzmodell.	625
5.1	Aufteilen langer Nachrichten	626
5.2	Schicht 0: Übertragungsmedien.	626
5.2.1	Koaxialkabel	626
5.2.2	Twisted-Pair-Kabel	627
5.2.3	RJ45-Stecker	627
5.2.4	Lichtwellenleiter (LWL).	627
5.2.5	Ethernet-Medien	628
5.2.6	strukturierte Verkabelung.	628
5.3	Schicht 1: Bitübertragung	629
5.3.1	Bit/s und Baud	629
5.3.2	Maximale Bitrate	629
5.3.3	Bitkodierungen	629
5.3.3.1	V.24	629
5.3.3.2	Manchester-Kodierung	630
5.3.3.3	NRZI – Non Return to Zero/Invert	630
5.3.3.4	4B/5B-Code Bild (V1-32).	631
5.3.3.5	MLT3-Kodierung.	631
5.3.3.6	PAM-5-Kodierung	631
5.3.3.7	128 DSQ-Kodierung	31
5.4	Schicht 2: Datensicherung	632
5.4.1	IEEE 802.3: CSMA/CD	632
5.4.1.1	Funktionsweise	632
5.4.1.2	Late Collisions	633
5.4.1.3	Autonegotiation	633
5.4.2	IEEE 802.5: Token Ring.	633
5.5	Schicht 3: Vermittlung	634
5.5.1	Internet Protokoll, Version 4 (IPv4)	634
5.5.2	IP-Adressen.	634
5.5.2.1	Schreibweisen	634
5.5.2.2	Netzmaske	634
5.5.2.3	Host-Adressen	635
5.5.2.4	IP-Adressklassen	635
5.5.3	Private IP-Adressen	635
5.5.4	NAT: Network Address Translation	636
5.5.5	Router	636
5.5.6	Routing-Protokolle	636
5.5.7	Paketfilter-Firewall	637
5.5.8	Kostenabrechnung.	637
5.5.9	IPv6	637
5.6	Schicht 4: Transport	637
5.6.1	TCP/IP	637
5.6.2	Ziele von TCP/IP	637
5.6.3	Das TCP/IP-Referenzmodell.	638
5.6.4	TCP/IP-Socket	638
5.6.5	TCP: Transport Control Protocol.	638
5.6.6	UDP: User Data Protocol	639
5.7	Aufgaben der Schichten 5–7	639
5.7.1	DNS: Domain Name Service	639
5.7.1.1	Funktionsweise	639
5.7.1.2	DNS-Namen	640
5.7.2	DHCP: Dynamic Host Configuration Protocol.	640
6	Industrial Ethernet	641
7	Literatur	641

Automatisierungstechnik

1	Einführung	643
2	Automatisierungsgeräte	643
3	Grundzüge der SPS-Norm IEC 61131-3	644
3.1	Programmorganisationskonzept	644
3.2	Deklaration von FB- und FC-Bausteinen	645
3.3	Variablen	646
3.4	Programmiersprachen	649
4	Programmstrukturen	650
4.1	Lineares Programm	650
4.2	Gegliedertes Programm	650
4.3	Parametrierbares Programm	650
5	Eingabe- und Ausgabesignale	651
5.1	Binäre Signale	651
5.2	Digitale Signale	651
5.3	Analoge Signale	651
6	Eingabe-/Ausgabebaugruppen	651
7	Verknüpfungssteuerungen	652
7.1	Logische Grundverknüpfungen in verschiedenen Darstellungen	652
7.2	Zusammengesetzte logische Grundverknüpfungen	652
7.3	Schließer- und Öffnerkontakte, Drahtbruchsicherheit, Erdschlussgefahr	654
7.4	Speicherfunktionen	654
7.5	Flankenauswertung	655
7.6	Darstellung und Eigenschaften elektropneumatischer Stellglieder	655
7.7	Regeln für das Umsetzen von Schützschaltungen in SPS-Programme	656
7.8	Zeitfunktionen	657
7.9	Zählerfunktionen	657
7.10	Vergleichsfunktionen	658
7.11	MOVE-Funktion	659
7.12	EN /ENO-Mechanismus	660
8	Aufruf und Wertübergaben zwischen Bausteinen nach IEC 61131-3	660
8.1	Aufrufhierarchie der Bausteine P, FB und FC	660
8.2	Aufruf von Funktionsbausteinen in FBS	660
8.3	Aufruf von Funktionsbausteinen in AWL	660
8.4	Aufruf von Funktionen in AWL	661
9	Ablaufsteuerung	661
9.1	Ablauf-Funktionsplan	661
9.2	Grafische Darstellung von Ablaufsteuerungsfunktionen	662
9.3	Betriebsartenteil und Bedienfeld	665
10	Kommunikation in Automatisierungssystemen	667
10.1	Bussysteme	667
10.2	PROFINET – Offener Industrial Ethernet Standard	667
10.3	OPC-Technologie	669
11	Steuerungssicherheit	670
11.1	Europäische Richtlinien und Sicherheitsnormen	671
11.2	Sicherheitsbegriff	671
12	Regelungstechnische Grundbegriffe der Automatisierungstechnik	673
12.1	Unterschied zwischen Steuern und Regeln, regelungstechnische Größen	673
12.2	Regler-Technologien	675
13	Regelstrecken	675
13.1	Beispiele für Regelstrecken	675
13.2	Beschreibungsmittel zur Darstellung von Regelstreckeneigenschaften	676
14	Regler	679
14.1	P-Regler, P-Regelfunktion	680
14.2	I-Regler, I-Regelfunktion	681
14.3	PI-Regler, PI-Regelfunktion	681
14.4	PID-Regler, PID-Regelfunktion	683
14.5	Vergleich der verschiedenen Reglertypen	683
14.6	PID-Reglerbaustein für digitale Abtastregelung	683
14.7	SPS als kontinuierlicher PID-Abtastregler	685

14.8	Digitaler Schrittregler mit PI-Verhalten	686
14.9	Zweipunktregler, Zweipunkt-Regelfunktion.	686
14.10	Regelgüte	687

Regelungstechnik

I	Einführung	689
II	Strukturbild und Übertragungsglieder	690
	1 Strukturbild	690
	2 Übertragungsglieder	690
	3 Klassifikation von Übertragungsgliedern	690
	3.1 Statische und dynamische Übertragungsglieder	690
	3.2 Lineare und nichtlineare Übertragungsglieder	691
	3.3 Zeitinvariante und zeitvariante Übertragungsglieder	692
	3.4 Kausale und akusale Übertragungsglieder	692
	4 Beschreibung von Übertragungsgliedern um einen Arbeitspunkt	692
	4.1 Arbeitspunkt eines Übertragungsgliedes	692
	4.2 Linearisierung um den Arbeitspunkt	692
	5 Impulsantwort und Sprungantwort einfacher Übertragungsglieder	693
	5.1 P -Glieder	693
	5.2 I -Glieder	693
	5.3 D -Glieder	693
	5.4 TZ -Glieder	693
	5.5 PT_1 -Glieder	693
	5.6 PT_2 -Glieder	694
III	Übertragungsverhalten linearer, zeitinvarianter Übertragungsglieder	695
	1 Übertragungsfunktion	695
	2 Frequenzgangfunktion	695
	3 Frequenzkennlinien elementarer Übertragungsfunktionen	696
	3.1 Verstärkungsfaktor	696
	3.2 Integrierer	696
	3.3 Differenzierer	696
	3.4 Reeller Pol	696
	3.5 Reelle Nullstelle	698
	3.6 Konjugiert komplexes Polpaar	698
	3.7 Konjugiert komplexes Nullstellenpaar	699
	3.8 Totzeit	700
	3.9 Allpass erster Ordnung	700
	3.10 Allpass zweiter Ordnung	700
IV	Stabilität	702
	1 Definition der Stabilität	702
	1.1 Asymptotische Stabilität	702
	1.2 BIBO-Stabilität	702
	2 Stabilitätskriterien	702
	2.1 Grundlegendes Stabilitätskriterium	702
	2.2 Hurwitz-Kriterium	703
	2.3 Nyquist-Kriterium	703
	2.4 Phasenreserve und Amplitudenreserve	704
V	Entwurf von Regelkreisen	707
	1 Forderungen an die Regelung	707
	1.1 Stabilität	707
	1.2 Stationäre Genauigkeit	707
	1.3 Hinreichende Dämpfung	708
	1.4 Hinreichende Schnelligkeit	708

2	Reglertypen	708
2.1	Standardregler	709
2.2	Korrekturglieder	709
2.2.1	Proportionalglied (P-Glied)	709
2.2.2	Integrierglied (I-Glied)	710
2.2.3	Lead-Glied	710
2.2.4	Lag-Glied	711
3	Faustregeln für die Wahl der Reglerstruktur und der Reglerparameter	711
4	Reglerentwurf mit dem Frequenzkennlinienverfahren	711
4.1	Entwurf eines PI-Reglers für ein Verzögerungssystem	711
4.2	Reglerentwurf für eine doppelt integrierende Strecke	712
5	Einstellregeln bei speziellen Regelstrecken	713
5.1	Betragsoptimum	713
5.2	Symmetrisches Optimum	714

Messtechnik

I	Grundlagen und Grundbegriffe der Messtechnik	717
1	Begriffe	717
2	Einheiten	717
3	Messabweichung, Messfehler	718
3.1	Systematische Abweichungen	718
3.2	Zufällige Abweichungen	719
3.3	Arithmetischer Mittelwert, Erwartungswert	719
3.4	Standardabweichung	719
4	Abweichungsfortpflanzung, Fehlerfortpflanzung	720
5	Fehlerangaben von Messgeräten	721
5.1	Analog anzeigende Messgeräte	721
5.2	Digital anzeigende Messgeräte	721
6	Arithmetischer Mittelwert und Effektivwert von Wechselgrößen	722
7	Häufigkeitsverteilung, Vertrauensbereich	722
8	Bearbeitung und Auswertung von Messwerten	723
II	Analog anzeigende Messgeräte	723
1	Grundlagen	723
2	Drehspul-Messwerk	724
3	Dreheisen-Messwerk	725
4	Elektrodynamisches Messwerk	725
5	Symbole und Instrumentenbeschriftungen	726
III	Oszilloskop	727
1	Übersicht	727
2	Aufbau eines Oszilloskopes	727
3	Zusatzeinrichtungen	730
IV	Schreibende Messgeräte	732
1	Betriebsarten	732
2	Schreibstiftauslenkung	733
V	Digital anzeigende Messgeräte	733
1	Digitalvoltmeter	733
2	Digitalmultimeter	734
3	Messung von Kapazitäten, Frequenzen und Stromverstärkungen	735
4	Messung von Temperaturen	735

VI	Messverfahren zur Messung elektrischer Größen	736
1	Messung von Gleichspannungen	736
1.1	Analog anzeigende Spannungsmessgeräte	736
1.2	Digital anzeigende Spannungsmessgeräte	736
1.3	Messabweichung durch den Innenwiderstand des Spannungsmessers	736
1.4	Spannungsmessung mit dem Kompensator	737
2	Messung von Gleichströmen	737
2.1	Analog anzeigende Strommessgeräte	737
2.2	Digital anzeigende Strommessgeräte	737
2.3	Messabweichung durch den Innenwiderstand des Strommessers	737
3	Messbereichserweiterung	738
3.1	Spannungsmessung	738
3.2	Strommessung	738
4	Messung von Wechselspannungen	738
4.1	Analog anzeigende Wechselspannungsmessgeräte	738
4.1.1	Spannungsmesser mit Dreheisenmesswerk	738
4.1.2	Spannungsmesser mit Drehspulmesswerk	739
4.1.3	Spannungsmesser mit Thermouformermesswerk	739
4.2	Digital anzeigende Wechselspannungsmessgeräte	739
5	Messung von Wechselströmen	740
5.1	Analog anzeigende Wechselstrommessgeräte	740
5.2	Digital anzeigende Wechselstrommessgeräte	740
6	Widerstands- und Impedanzmessung	740
6.1	Gleichstrom-Messbrücken zur Widerstandsmessung	740
6.1.1	Grundlagen	740
6.1.2	Wheatstone-Messbrücke im Abgleichverfahren	741
6.1.3	Thomson-Messbrücke im Abgleichverfahren	741
6.1.4	Wheatstone-Messbrücke im Ausschlagverfahren	742
6.1.5	Wheatstone-Messbrücke im Ausschlagverfahren mit Widerstand in der Brückendiagonalen	743
6.2	Wechselstrom-Messbrücken zur Widerstands- und Impedanzmessung	743
6.2.1	Messung von ohmschen Widerständen	743
6.2.2	Messung von Impedanzen	744
6.3	Vergleich mit bekanntem Widerstand – Spannungsvergleich	744
6.4	Messung von Strom und Spannung	745
6.5	Widerstandsmessung mit analogen Multimetern	745
7	Leistungsmessung	746
7.1	Wirkleistungsmessung	746
7.1.1	Wirkleistungsmessung bei Wechselstrom	746
7.1.2	Wirkleistungsmessung in Drehstromsystemen	747
7.1.3	Symmetrisch belastetes Drehstromsystem	747
7.1.4	Beliebig belastetes Dreileiter-Drehstromsystem	747
7.1.5	Beliebig belastetes Vierleiter-Drehstromsystem	748
7.2	Blindleistungsmessung	749
7.2.1	Blindleistungsmessung bei Wechselstrom	749
7.2.2	Blindleistungsmessung in symmetrisch belasteten Dreileiter-Drehstromsystemen	749
7.2.3	Blindleistungsmessung in beliebig belasteten Vierleiter-Drehstromsystemen	749
7.3	Scheinleistungsmessung	750
7.4	Messbereichserweiterung bei der Leistungsmessung	750
7.5	Leistungsfaktormessung	750
8	Messung der Arbeit	750
9	Messung von L, C, Gütefaktor und Verlustfaktor	752
9.1	Messung von $ Z_L $ oder $ Z_C $	752
9.2	Messung von Z_L , Z_C , Gütefaktor und Verlustfaktor	752
10	Messung magnetischer Größen	753
10.1	Magnetischer Fluss	753
10.2	Magnetische Flussdichte	754
10.3	Magnetische Feldstärke	754
10.4	Permeabilität	755
VII	Messverfahren zur Messung nichtelektrischer Größen	756
1	Messaufnehmer	757
1.1	Ohmsche Aufnehmer	757
1.2	Kapazitive Aufnehmer	759

1.3	Induktive Aufnehmer	759
1.4	Optische Aufnehmer	759
1.4.1	Fotodiode	760
1.4.2	Fotovervielfacher	760
1.5	Ladungsliefernde Aufnehmer	760
1.6	Thermische Aufnehmer	761
1.6.1	Thermoelemente	761
1.7	Chemische Aufnehmer	763
1.7.1	pH-Wert-Messeinrichtung mit Glaselektrode	763
1.7.2	Aufnehmer zur Messung der Sauerstoffkonzentration	764
1.8	Aufnehmer zur Messung von Gaskonzentrationen allgemein	764
2	Messverfahren	765
2.1	Kraftmessung mit Dehnungsmessstreifen (DMS)	765
2.2	Füllstandmessung und Messung der Foliendicke	767
2.3	Drehzahlmessung	768
2.4	Durchflussmessung	770
2.5	Zeit- und Frequenzmessung	772
2.6	Weg- und Winkelmessung	773
2.7	Beschleunigungsmessung	775
VIII	Messdatenaufbereitung	776
1	Verringerung der Störeinflüsse von außen	776
2	Messverstärker	778
IX	Bussysteme für die Messtechnik	779
1	Grundbegriffe	779
2	IEC-Bus	780
3	DIN-Messbus	782
4	Aktuator-Sensor-Interface (ASI)	782
5	CAN-BUS	785
6	USB-Übertragung	786
7	LAN (Local Area Network)	786
X	Probleme bei der Digitalisierung analoger Messwerte	786
1	Fehler bei der Digitalisierung	786
2	Signal-Quantisierungs-Geräuschabstand	787
3	Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses	788
4	Abtast-Halte-Glied	788
5	Aliasing	788
6	Erfassung von Momentanwerten	788
XI	PC-gestützte Messverfahren und Messsignalanalyse	789
1	Statistische Verfahren zur Messsignalauswertung	789
2	Graphische Darstellung	789
3	Ermittlung von Kenngrößen, Klassierung	790
4	Messsignalanalyse	790
4.1	Verfahren	791
4.2	Anwendungen	791
4.2.1	Messung des Klirrfaktors	791
4.2.2	Geräuschmessung zur Schadenfrüherkennung	791
4.2.3	Abstandsmessung	791
4.2.4	Erkennung periodischer Signalanteile	791
5	Automatisierung von Messabläufen	791

Energietechnik

I	Elektrische Maschinen	793
1	Transformatoren	793
1.1	Aufgaben eines Transformators	793
1.2	Bauteile eines Transformators	793
1.2.1	Eisenkerne	793
1.2.2	Wicklungen	793
1.2.3	Kühlung	794
1.3	Wirkungsweise eines Einphasen-Transformators	794
1.3.1	Leerlauf	794
1.3.2	Belastung	795
1.3.3	Leerlaufversuch	796
1.3.4	Kurzschlussversuch	797
1.3.5	Wirkungsgrad	798
1.4	Aufbau und Schaltung von Drehstrom-Transformatoren	799
1.4.1	Wirkungsweise	799
1.4.2	Schaltgruppen	800
1.4.3	Unsymmetrische Belastungen	800
1.5	Parallelschalten von Transformatoren	800
1.6	Transformatorerschutz	801
1.7	Überlastung von Transformatoren	801
1.8	Aufstellen von Transformatoren	801
1.9	Sondertransformatoren	802
1.9.1	Spartransformatoren	802
1.9.2	Drosselspulen	802
1.9.3	Streuungstransformatoren	803
1.10	Messwandler	803
1.10.1	Spannungswandler	803
1.10.2	Stromwandler	804
2	Drehstrommaschinen	804
2.1	Die Drehstromasynchronmaschine	805
2.1.1	Wirkungsweise der Asynchronmaschine	805
2.1.2	Betriebsverhalten der Asynchronmaschine	805
2.1.2.1	Spannungsgleichung, Ersatzschaltbild	806
2.1.2.2	Leistungsfluss	806
2.1.2.3	Betriebskennlinien	807
2.1.3	Kurzschlussläufer	807
2.1.3.1	Anlassverfahren	808
2.1.3.2	Bremsverfahren	809
2.1.3.3	Drehzahlsteuerung	810
2.1.3.4	Ständerspannungsänderung	810
2.1.3.5	Frequenzänderung	810
2.1.3.6	Polumschaltung	812
2.1.4	Der Schleifringläufer	812
2.1.4.1	Anlassverfahren	812
2.1.4.2	Bremsverfahren	813
2.1.4.3	Drehzahlsteuerung	813
2.2	Linearmotor	814
2.2.1	Aufbau des Linearmotors	814
2.3	Drehstromsynchronmaschinen	814
2.3.1	Wirkungsweise der Synchronmaschine	815
2.3.2	Spannungsgleichung der Synchronmaschine	816
2.3.3	Anlauf und Synchronisation	816
3	Einphasen-Asynchronmotoren	817
3.1	Einsträngiger Motor	817
3.2	Zweistängiger Motor	817
3.3	Kondensatormotor	817
3.4	Spaltpolmotor	818
4	Drehstrommotor im Einphasenbetrieb	818
5	Sonderbauformen	819
5.1	Schrittmotor	819
5.2	Servomotor	819

5.2.1	Scheibenläufermotor	820
5.2.2	Stabankermotoren	820
6	Gleichstrommaschinen	820
6.1	Aufbau und Wirkungsweise	821
6.1.1	Ankerrückwirkungen	821
6.2	Betriebsverhalten von Gleichstrommaschinen	822
6.2.1	Nebenschlussmotor	822
6.2.2	Reihenschlussmotor	824
6.2.3	Doppelschlussmotor	826
6.3	Betriebsverhalten von Gleichstromgeneratoren	826
6.3.1	Fremderregter Generator	827
6.3.2	Nebenschlussgenerator	827
6.3.3	Reihenschlussgenerator	827
6.3.4	Doppelschlussgenerator	828
6.4	Gleichstrommaschine am Wechsel- oder Drehstromnetz	828
6.4.1	Wechselstrombrücken	828
6.4.1.1	Einquadrantenantrieb (1-Q-Betrieb)	828
6.4.1.2	Zweiquadrantenantrieb (2-Q-Betrieb)	829
6.4.1.3	Vierquadrantenantrieb (4-Q-Betrieb)	829
6.4.2	Drehstrombrücken	830
6.4.2.1	Zweiquadrantenbetrieb (2-Q-Betrieb)	830
6.4.2.2	Vierquadrantenbetrieb (4-Q-Betrieb)	830
6.5	Universalmotor	830
7	Auswahl von Motoren	831
7.1	Auswahl unter Berücksichtigung der Normen	831
7.1.1	Bauform und Baugrößen	831
7.1.2	Schutzart	831
7.1.3	Kühlart	834
7.1.4	Isolierstoffklassen	834
7.1.5	Motorschutz	834
7.1.5.1	Thermischer Auslöser	835
7.1.5.2	Thermistor-Motorvollschutz	836
7.1.6	Abstimmung des Motors auf die Arbeitsmaschine	836
7.1.6.1	Wartung von Maschinen	837
7.1.7	Störungsbeseitigung	838
7.1.8	Anschlusskennzeichnungen von Maschinen	840
II	Elektrische Anlagen	841
1	Struktur der Elektrizitätswirtschaft	841
2	Elektrische Energieerzeugung	842
2.1	Energiebedarf	842
2.3	Wärme- und Wasserkraftwerke	843
2.2	Energiereserven	843
2.3.1	Konventionelle Dampfkraftwerke	844
2.3.2	Kombikraftwerke	844
2.3.3	Kernkraftwerke	844
2.3.3.1	Druckwasserreaktor	845
2.3.3.2	Siedewasserreaktor	845
2.3.3.3	Hochtemperaturreaktor	845
2.3.4	Umweltschutz	846
2.4	Wasserkraftwerke	847
2.5	Windkraftwerke	848
2.6	Solkraftwerke	848
2.6.1	Sonnenwärmekraftwerke	848
2.6.2	Photovoltaische Kraftwerke	849
2.6.3	Solar-Wasserstoff-Anlage	849
2.7	Sonstige Kraftwerke	849
2.7.1	Biomasse	849
2.7.2	Brennstoffzellen	849
2.7.3	Fusionsreaktor	850
3	Elektrische Energieverteilung	850
3.1.1	Gleichstromnetz	851
3.1.2	Wechselstromnetz	851
3.1.3	Drehstromnetz	851
3.2	Netzstrukturen	852
3.2.1	Strahlennetz	852

3.2.2	Ringnetz	853
3.2.3	Maschennetz	853
3.2.4	Verbundnetz	853
4	Betriebsmittel der Energietechnik	854
4.1	Bemessung und Auswahl	854
4.2	Kabel, Leitungen und Schienen	854
4.2.1	Freileitungen	854
4.2.2	Kabel	855
4.2.2.1	Leiterwerkstoffe	855
4.2.2.2	Leiterisolierung	856
4.2.2.4	Erwärmung	856
4.2.2.5	Verlegung	858
4.2.2.6	Verlegung in Erde	858
4.2.2.7	Verlegung in Luft	858
4.2.2.8	Überstromschutz	862
4.2.2.8.1	Überlastschutz	862
4.2.2.8.2	Kurzschlusschutz	863
4.2.3	Leitungen	864
4.2.3.1	Spannungsfall auf Kabeln und Leitungen	867
4.2.3.2	Verlegung von Kabeln und Leitungen	868
4.2.3.3	Ersatzschaltung von Kabeln und Leitungen	868
4.2.4	Sammelschienen	868
4.2.4.2	Kurzschlussfestigkeit	871
4.2.4.3	Mechanische Kurzschlussfestigkeit	871
4.2.4.4	Thermische Kurzschlussfestigkeit	872
4.3	Schaltanlagen	872
4.3.1	Hochspannungsschaltanlagen	873
4.3.2	Mittelspannungsanlagen	873
4.3.2.1	Bauart von Mittelspannungsschaltanlagen	873
4.3.2.2	Störlichtbogenfestigkeit	874
4.3.2.3	Schaltgeräte	875
4.3.2.3.1	Trennschalter	875
4.3.2.3.2	Last- und Lasttrennschalter	876
4.3.2.3.3	Leistungsschalter	876
4.3.2.3.4	Erdungsschalter	877
4.3.2.3.5	Sicherungen	877
4.3.2.3.6	I_s -Begrenzer	877
4.3.2.4	Schutzgeräte	878
4.3.2.4.1	Überstromrelais/Überstromzeitrelais	878
4.3.2.4.2	Überlastrelais	878
4.3.2.4.3	Differentialrelais	878
4.3.2.4.4	Distanzrelais	878
4.3.2.4.5	Kurzunterbrechungsrelais	878
4.3.2.4.6	Erdschlussrichtungsrelais	878
4.3.3	Anlagenräume	878
4.3.4	Niederspannungsschaltanlagen	879
4.3.4.1	Niederspannungs-Schaltgerätekombinationen	880
4.3.4.1.1	Niederspannungs-Schaltgeräte	880
4.3.4.1.1.1	Leistungsschalter	880
4.3.4.1.1.2	Schütze	880
4.3.4.1.1.3	Sicherungen	882
4.3.4.1.1.4	Leitungsschutzschalter	882
4.3.4.1.1.5	Fehlerstromschutzschalter	882
5	Schutzmaßnahmen	882
5.1	Wirkung des Stroms	883
5.2	Schutz gegen direktes Berühren	883
5.3	Schutz gegen indirektes Berühren	883
5.3.1	Schutzisolierung	884
5.3.2	Schutztrennung	884
5.3.3	Schutz durch nichtleitende Räume	885
5.3.4	Schutzkleinspannung	885

5.3.5	Funktionskleinspannung	886
5.3.6	Schutz durch Abschalten und Melden	886
5.3.6.1	Überstromschutzeinrichtung	887
5.3.6.2	FI-Schutzeinrichtung	888
5.3.6.3	Isolationsüberwachung	888
5.3.6.4	Zusätzlicher Potentialausgleich	888
6	Arbeiten an elektrischen Anlagen	889
7	Überprüfung der Schutzmaßnahme	890
8	Kurzschlussberechnung (VDE 0102)	891
III	Elektrische Energieanwendung	893
1	Kompensationsanlagen	893
2	Beleuchtungsanlagen	895
2.1	Grundgrößen der Lichttechnik	895
2.2	Lichtquellen	896
2.3	Glühlampen.	897
2.4	Leuchtstofflampen	897
2.5	Entladungslampen.	897
2.6	Leuchten	897
2.7	Berechnung von Beleuchtungsanlagen	898

Nachrichtentechnik

I	Grundlagen der Nachrichtenübertragung	901
1	Prinzip der elektrischen Nachrichtenübertragung	901
2	Aufgaben der Nachrichtentechnik	903
3	Grundbegriffe	903
4	Nachricht, Information und Signal	903
4.1	Informationsgehalt	903
4.2	Signale in der Nachrichtentechnik	903
4.3	Entropie	904
4.4	Redundanz	904
4.5	Informationsfluss	905
4.6	Kanalkapazität, Dynamik	905
4.7	Nachrichtenquader	905
4.8	Signale im Zeitbereich: Analog, digital, kontinuierlich, diskret	906
4.9	Signale im Frequenzbereich	906
4.9.1	Periodische sinusförmige Signale	907
4.9.2	Periodische nichtsinusförmige Signale	907
4.9.3	Nichtperiodische Signale	907
4.10	Abtasttheorem von Shannon	910
4.11	Zufällige (stochastische) Signale.	911
4.11.1	Rauschen.	911
4.11.2	Kenngrößen von stochastischen Signalen	912
4.11.3	Anwendungen der Kenngrößen von stochastischen Signalen	913
4.12	Verzerrungen	913
4.12.1	Lineare Verzerrungen	914
4.12.2	Nichtlineare Verzerrungen	914
4.12.3	Klirrfaktor	915
5	Kenngrößen der Übertragungsstrecke	915
5.1	Dämpfungsfaktor	915
5.2	Übertragungsfaktor	915
5.3	Dämpfungsmaß	916
5.4	Übertragungsmaß, Verstärkungsmaß.	916
5.5	Pegel	916
5.5.1	Absoluter Pegel	916
5.5.2	Relativer Pegel	916

5.5.3	Dämpfungsmaß, Übertragungsmaß	917
5.5.4	Pegeldiagramm	917
II	Zweitore, Vierpole	918
1	Zweitore allgemein	918
1.1	Grundlagen	918
1.2	Zweitorgleichungen, Zusammenschaltung von Zweitoren	918
1.3	Bestimmung der Zweitoreparameter	920
1.4	Elementarzweitore	921
1.5	Betriebskenngrößen	921
2	Spezielle Zweitore	929
2.1	Übertragungssymmetrische (reziproke) Zweitore	929
2.2	Widerstandssymmetrische Zweitore	930
2.3	Längssymmetrische Zweitore	930
2.4	Rückwirkungsfreie Zweitore	930
3	Wellenparameter passiver Zweitore	930
3.1	Allgemeine passive Zweitore	930
3.2	Längssymmetrische passive Zweitore	931
3.3	Wellenwiderstand bei passiven längssymmetrischen Zweitoren	931
3.4	Übertragungsmaß bei passiven längssymmetrischen Zweitoren	932
3.5	Spezielle Zweitore	932
3.5.1	Doppel-T-Filter	932
3.5.2	Kreuzschaltung	933
3.5.3	Frequenzkompensierter Spannungsteiler	933
III	Leitungen	934
1	Leitungsbeläge und Leitungsgleichungen	934
2	Leitung mit sinusförmigen Spannungen und Strömen	936
2.1	Allgemeine Lösung	936
2.2	Wellenwiderstand	936
2.3	Ausbreitungskoeffizient	937
2.4	Verlustlose Leitung	937
2.5	Lösung mit Zeigerdarstellung	937
2.6	Unendlich lange Leitung	938
2.7	Anpassung	938
2.8	Phasengeschwindigkeit, Gruppengeschwindigkeit	938
3	Leitung mit sinusförmigen Spannungen und Strömen und beliebiger Abschlussimpedanz Z_L	938
3.1	Reflexionsfaktor, Übertragungsfaktor	938
3.2	Eingangsimpedanz	939
3.3	Verzerrungsfreie Leitung	940
3.4	Leitung als Vierpol	940
3.4.1	Allgemeine Ersatzschaltung	940
3.4.2	Elektrisch kurze Leitung	941
4	Verlustlose Leitung	941
4.1	Eigenschaften	941
4.2	Wanderwellen bei Reflexion am Leitungsein- und -ausgang	941
4.3	Elektrisch lange Leitung	942
4.4	Leitung als Transformator	943
4.5	Stehende Wellen	943
4.6	Kettenleiter	943
4.7	Wellenfilter	944
4.8	Filterentwurf	945
4.9	Dielektrische Filter	945
5	Daten von Leitungen	949
6	Hochfrequenzleitungen	951
6.1	Hochfrequenz-Koaxialkabel	951
6.2	Hohlleiter	953
6.3	Streifenleitungen	956
7	s-Parameter	960
7.1	Signalflussdiagramm	960
7.2	Leistungsverstärkung	962
8	Kreisdiagramm	962
8.1	Doppel-Kreisdiagramm	965

8.2	s-Parameter im Kreisdiagramm	966
IV	Antennen	968
1	Grundlagen	968
2	Kenngrößen	970
3	Ausführungsformen von Antennen	972
3.1	Vertikalantenne	972
3.2	Rahmenantenne	972
3.3	Ferritantenne	972
3.4	$\lambda/2$ -Dipol, $\lambda/2$ -Faltdipol	973
3.5	Breitbanddipol	973
3.6	Gruppenstrahler	973
3.7	Yagi-Antenne	973
3.8	Langdrahtantenne	974
3.9	Rohrschlitzstrahler	974
3.10	Parabolantenne	974
4	Wellenausbreitung	974
4.1	Boden- und Raumwelle	974
4.2	Erdatmosphäre	975
4.3	Wellenausbreitung im Plasma	975
4.4	Wellenausbreitung im Bereich 30 kHz bis 30 GHz	976
V	Modulation	978
1	Übersicht	978
2	Sinusträger – mit Analogsignal moduliert	978
2.1	Amplitudenmodulation (AM)	979
2.1.1	Modulation durch Multiplikation	979
2.1.2	Kenngrößen der Amplitudenmodulation	979
2.1.3	Modulation an einer quadratischen Kennlinie	980
2.1.4	Modulation an einer nichtlinearen nichtquadratischen Kennlinie	981
2.1.5	Zeigerdiagramm	981
2.1.6	Modulationstrapez	981
2.1.7	Demodulation von AM	982
2.1.8	Leistung von Träger und Seitenbändern	982
2.1.9	Störungen bei amplitudenmodulierten Signalen	982
2.1.10	Kreuzmodulation	983
2.2	Sonderformen der Amplitudenmodulation	983
2.2.1	Einseitenbandmodulation (ESB, SSB)	983
2.2.2	Restseitenbandmodulation (RM, VSB)	984
2.2.3	Quadraturremodulation	985
2.3	Technische Ausführung der Amplitudenmodulation	985
2.4	Winkelmodulation	986
2.4.1	Grundlagen	986
2.4.2	Kenngrößen	987
2.4.3	Zeigerdarstellung	987
2.4.4	Spektrum und Bandbreitenbedarf	987
2.4.5	Störungen bei winkelmodulierten Signalen	988
2.4.6	Preemphase, Deemphase	989
2.4.7	Erzeugung von Frequenz- und Phasenmodulation	989
2.4.8	Demodulation von Frequenz- und Phasenmodulation	991
3	Sinusträger – mit Digitalsignal moduliert	992
3.1	Amplitudenumtastung (ASK)	992
3.2	Frequenzumtastung (FSK)	993
3.3	Phasenumtastung (PSK)	993
3.3.1	Zweiphasenumtastung (2-PSK)	994
3.3.2	Vierphasenumtastung (4-PSK)	995
3.3.3	n-Phasen-Umtastung	996
3.3.4	QAPSK kombinierte Amplituden-Phasenumtastung	997
4	Pulsträger uncodiert	997
4.1	Pulsamplitudenmodulation (PAM)	997
4.2	Pulsfrequenz- und Pulsphasen- modulation (PFM, PPM)	997
4.3	Pulsdauermodulation (PDM)	999
4.4	Pulscodemodulation (PCM)	999
4.4.1	Prinzip	999
4.4.2	Aliasing-Effekt	1000

4.4.3	Abtast-Halte-Glied	1000
4.4.4	Quantisierung	1002
4.4.5	Quantisierungsgeräusch	1002
4.4.6	Kompandierung	1002
4.4.7	Codierung	1003
4.4.8	Deltamodulation (DM) und Differenz-Pulsmodulation (DPCM)	1004
VI	Filter	1005
1	Einfache passive R-C-Filter	1005
1.1	Allgemeines	1005
1.2	Passive R-C-Filter	1006
1.2.1	Passive R-C-Tiefpassfilter	1006
1.2.2	Passive R-C-Hochpassfilter	1007
1.2.3	Bandpass aus R-C-Hoch- und Tiefpassfilter	1007
1.2.4	R-L-C-Bandpass und -Bandsperre	1009
1.2.5	Bandfilter	1011
2	Weitere Ausführungsformen	1012
2.1	Quarzfilter, keramische Filter	1012
2.2	Digitale Filter	1013
2.3	Filter mit geschalteten Kondensatoren, SC-Filter	1014
3	Allgemeiner Filterentwurf	1015
3.1	Allgemeine Eigenschaften und Entwurfskriterien	1015
3.2	Tiefpassfilter	1017
3.3	Filtertransformationen	1021
3.3.1	Hochpassfilter	1021
3.3.2	Bandpassfilter	1022
3.3.3	Bandsperre	1022
3.4	Besondere Filterschaltungen	1022
3.4.1	Allpassfilter	1022
3.4.2	Sallen-Key-Filter	1022
VII	Empfängerschaltungstechnik	1023
1	Geradeempfänger	1023
2	Überlagerungsempfänger	1023
3	Automatische Verstärkungsregelung (AVR)	1024
4	Weitere Schaltungskonzepte	1024
VIII	Ton- und Bildübertragung	1024
1	Rundfunk-Stereoübertragung	1024
2	Digitale Farbfernsehtechnik	1026
IX	Mehrfachübertragung – Multiplexverfahren	1031
1	Zeitmultiplexverfahren	1032
1.1	Analoge Signalübertragung	1032
1.2	Digital codierte Signalübertragung	1033
2	Frequenzmultiplexverfahren	1033
X	Richtfunktechnik	1035
XI	Nachrichtenübertragung über Satellit	1036
XII	Nachrichtenübertragung über Lichtwellenleiter (LWL)	1040
1	Physikalische Grundlagen	1040
2	Grundmodelle von Lichtwellenleitern	1041
2.1	Mehrmoden-Stufenindex mit Totalreflexion	1041
2.2	Mehrmoden-Gradientenindex	1042
2.3	Einmoden-Stufenindex	1042
4	Lichtsender	1042
5	Lichtempfänger	1043
6	Verbinden von Lichtleitern	1043
7	Optische Schalter	1044
XIII	Funkmesstechnik	1044

1 Radar	1044
1.1 Grundlagen, Kenngrößen	1044
1.2 Daten von Radaranlagen.	1048
2 Funkortungssystem OMEGA	1049
3 GPS – Global Positioning System	1049
XIV Elektroakustische Wandler	1050
1 Definitionen, Kenngrößen.	1050
2 Schallempfänger	1052
2.1 Kenngrößen für Mikrofone	1052
2.2 Mikrofonssysteme	1053
2.2.1 Kohlemikrofon	1053
2.2.2 Kristallmikrofon	1054
2.2.3 (Elektro-)Magnetisches Mikrofon	1054
2.2.4 (Elektro-)Dynamisches Mikrofon als Tauchspul- oder Bändchenmikrofon	1054
2.2.5 Kondensatormikrofon	1054
2.2.6 Elektret-Kondensatormikrofon	1055
2.3 Daten und Eigenschaften verschiedener Mikrofonssysteme	1055
3 Schallsender	1055
3.1 Lautsprecher- und Hörer-Systeme	1055
3.1.1 Elektrodynamisches System	1055
3.1.2 (Elektro-)Magnetisches System	1056
3.1.3 Dynamisches System	1057
3.1.4 Elektrostatisches System	1057
3.1.5 Piezoelektrisches System	1057
3.2 Kenngrößen, Daten	1057
XV Vermittlungstechnik	1059
1 Grundbegriffe	1059
2 Vermittlung.	1059
3 Verkehrstheorie	1061
4 Endgerät	1061
XVI Kommunikations- und Datennetze	1063
1 Strukturen lokaler Kommunikations- und Datennetze	1063
2 Öffentliche Kommunikations- und Datensysteme	1063
2.1 Einführung	1063
2.2 ISDN	1065
2.2.1 Telefon, Telefax, Internet (<64 kBit/s)	1065
2.2.2 Internet über DSL (>64 kBit/s), VoIP, IPTV	1067
3 Öffentliche Funknetze	1069
3.1 Mobilfunk mit GSM-Technik	1069
3.2 Mobilfunk mit UMTS-Technik	1070
4 Private Funknetze	1071
4.1 Schnurlostelefone	1071
4.2 Bluetooth	1071
4.3 WLAN	1072
XVII Optimierte Nachrichten- und Datenübertragung	1072
1 Codierung	1072
1.1 Quellencodierung	1073
1.1.1 Grundlagen	1073
1.1.2 Optimalcodes	1074
1.1.3 Datenreduktion.	1075
1.2 Kanalcodierung	1075
1.2.1 Grundlagen	1075
1.2.2 Maximum-Likelihood-Verfahren	1076
1.2.3 Faltungscodierer mit Likelihood-Viterbi-Decodierer	1077
2 Optimalfilter	1079
3 Anwendung der Korrelation bei gestörten Signalen	1081
4 Verschlüsselung von Daten	1082
5 Fensterung	1085

Signal- und Systemtheorie

Häufig verwendete Formelzeichen	1089
I Einführung	1090
1 Darstellung in der Zeit- und in der Frequenzebene.	1090
2 Hinweise zur Anwendung	1091
II Grundbegriffe	1092
III Periodische nichtsinusförmige zeitkontinuierliche Signale	1093
1 Reelle und komplexe Fourierreihe	1093
2 Beispiele und Anwendungen.	1094
IV Nichtperiodische zeitkontinuierliche Signale	1097
1 Fouriertransformation	1097
1.1 Transformationsregeln	1097
1.2 Eigenschaften	1097
1.3 Korrespondenztabelle	1099
1.4 Beispiele.	1100
2 Laplacetransformation.	1100
2.1 Einführung	1100
2.2 Transformation	1100
2.3 Sätze zur Laplacetransformation	1103
2.4 Anwendung der Laplace- transformation bei bekanntem $H(s)$	1104
2.5 Bestimmung von $H(s)$	1104
2.5.1 Bestimmung von $H(s)$ mit Differenzialgleichung.	1104
2.5.2 Bestimmung von $H(s)$ durch direkte Transformation der Einzelemente	1104
2.6 Beispiele.	1106
V Spezielle Signale	1111
1 Stoßfunktion, δ-Funktion, Dirac-Impuls.	1111
2 Sprungfunktion $\sigma(t)$	1111
3 Verknüpfung von σ- und δ-Funktion.	1112
4 Harmonische Schwingungen	1112
VI Leistung	1113
VII Faltungsintegral	1114
VIII Abtasttheorem	1115
IX Nichtkontinuierliche (zeitdiskrete) Signale	1116
1 Diskrete Fouriertransformation (DFT)	1117
2 Schnelle Fouriertransformation (FFT).	1118
3 z-Transformation	1118
X Zufällige Signale	1122
1 Grundbegriffe und Kenngrößen	1122
2 Verteilungen.	1125
2.1 Binomialverteilung.	1125
2.2 Poissonverteilung	1125
2.3 Normalverteilung, Gaußverteilung	1125
3 Rauschen.	1126
4 Signalerkennung bei gestörter Übertragung	1127
4.1 Erkennen versteckter Periodizitäten.	1127
4.2 Signalerkennung allgemein.	1127
4.3 Signalangepasste Filter (matched filter)	1127
Sachwortverzeichnis	1129