

Wolfgang Böge (Hrsg.)  
Wilfried Plaßmann (Hrsg.)

# **Vieweg Handbuch Elektrotechnik**

**Grundlagen und Anwendungen  
für Elektrotechniker**

3., verbesserte und ergänzte Auflage

Mit 1805 Abbildungen und 273 Tabellen



# Inhaltsverzeichnis

## Mathematik

<b>I Arithmetik . . . . .</b>	<b>I</b>
<b>1 Mengen . . . . .</b>	<b>1</b>
<b>2 Aussageformen und logische Zeichen . . . . .</b>	<b>1</b>
2.1 Aussageformen . . . . .	1
2.2 Logische Zeichen . . . . .	1
2.3 Vollständige Induktion . . . . .	2
<b>3 Einteilung der Zahlen . . . . .</b>	<b>2</b>
<b>4 Grundrechenarten . . . . .</b>	<b>3</b>
<b>5 Grundlegende Rechenregeln . . . . .</b>	<b>4</b>
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 Grundregeln der Klammerrechnung . . . . .	5
5.8 Multiplikation mit Klammern . . . . .	5
5.9 Indizes, Summenzeichen, Produktzeichen . . . . .	6
5.10 Binomische Formeln . . . . .	6
5.11 Fakultäten, Binomialkoeffizienten und Pascalsches Dreieck . . . . .	6
5.12 Binomischer Lehrsatz . . . . .	7
5.13 Division mit Klammern . . . . .	8
<b>6 Bruchrechnung . . . . .</b>	<b>8</b>
6.1 Definitionen . . . . .	8
6.2 Erweitern und Kürzen . . . . .	8
6.3 Addieren und Subtrahieren gleichnamiger Brüche . . . . .	9
6.4 Addieren und Subtrahieren ungleichnamiger Brüche . . . . .	9
6.5 Multiplizieren von Brüchen . . . . .	9
6.6 Dividieren von Brüchen . . . . .	10
<b>7 Potenz- und Wurzelrechnung . . . . .</b>	<b>10</b>
7.1 Definition der Potenz . . . . .	10
7.2 Regeln der Potenzrechnung . . . . .	10
7.3 Definition der Wurzel . . . . .	11
7.4 Regeln der Wurzelrechnung . . . . .	12
<b>8 Dezimalzahlen und Dualzahlen . . . . .</b>	<b>14</b>
8.1 Dezimalsystem . . . . .	14
8.2 Dualsystem . . . . .	14
8.3 Runden . . . . .	15
<b>9 Logarithmen . . . . .</b>	<b>15</b>
9.1 Definition des Logarithmus . . . . .	15
9.2 Spezielle Basen . . . . .	15
9.3 Regeln der Logarithmenrechnung . . . . .	16
9.4 Zusammenhang von Logarithmen mit verschiedenen Basen . . . . .	16
9.5 Dekadische Logarithmen . . . . .	17
<b>10 Mittelwerte . . . . .</b>	<b>17</b>
10.1 Arithmetisches Mittel . . . . .	17
10.2 Geometrisches Mittel . . . . .	17
10.3 Harmonisches Mittel . . . . .	17
10.4 Quadratisches Mittel . . . . .	18
<b>11 Ungleichungen . . . . .</b>	<b>18</b>
11.1 Definitionen und Rechenregeln . . . . .	18
11.2 Absolutbetrag . . . . .	18
11.3 Intervalle . . . . .	19

<b>12 Komplexe Zahlen . . . . .</b>	19
12.1 Algebraische Form . . . . .	19
12.2 Trigonometrische Form . . . . .	20
12.3 Addieren und Subtrahieren komplexer Zahlen . . . . .	21
12.4 Multiplizieren komplexer Zahlen . . . . .	21
12.5 Dividieren komplexer Zahlen . . . . .	22
12.6 Potenzieren komplexer Zahlen . . . . .	22
12.7 Radizieren komplexer Zahlen . . . . .	23
12.8 Eulersche Formel . . . . .	23
<b>II Gleichungen . . . . .</b>	24
<b>1 Gleichungarten . . . . .</b>	24
<b>2 Äquivalente Umformungen . . . . .</b>	25
<b>3 Lineare Gleichungen . . . . .</b>	26
<b>4 Proportionen . . . . .</b>	26
<b>5 Quadratische Gleichungen . . . . .</b>	27
5.1 Definitionen . . . . .	27
5.2 Lösungsverfahren . . . . .	27
5.2.1 Sonderfälle . . . . .	27
5.2.2 Normalform . . . . .	28
5.2.3 Allgemeine Formen . . . . .	29
5.2.4 Zerlegung in Linearfaktoren . . . . .	29
5.3 Satz von Viëta für quadratische Gleichungen . . . . .	29
<b>6 Algebraische Gleichungen höheren Grades . . . . .</b>	30
6.1 Kubische Gleichungen . . . . .	30
6.2 Polynomdivision . . . . .	31
6.3 Gleichungen vierten Grades . . . . .	32
6.4 Gleichungen $n$ -ten Grades . . . . .	33
6.5 Satz von Viëta für Gleichungen $n$ -ten Grades . . . . .	33
<b>7 Auf algebraische Gleichungen zurückführbare Gleichungen . . . . .</b>	34
7.1 Bruchgleichungen . . . . .	34
7.2 Wurzelgleichungen . . . . .	35
<b>8 Transzendente Gleichungen . . . . .</b>	35
8.1 Exponentialgleichungen . . . . .	35
8.2 Logarithmische Gleichungen . . . . .	36
8.3 Trigonometrische Gleichungen . . . . .	36
<b>9 Lineare Gleichungssysteme . . . . .</b>	37
9.1 Definitionen . . . . .	37
9.2 Zwei lineare Gleichungen mit zwei Variablen . . . . .	37
9.3 Drei lineare Gleichungen mit drei Variablen . . . . .	39
9.4 Matrizen und Determinanten . . . . .	39
<b>10 Lineare Ungleichungen . . . . .</b>	44
10.1 Definitionen . . . . .	44
10.2 Lineare Ungleichungen mit einer Variablen . . . . .	44
10.3 Lineare Ungleichungen mit zwei Variablen . . . . .	45
10.4 Lineare Ungleichungssysteme mit zwei Variablen . . . . .	45
<b>III Planimetrie . . . . .</b>	46
<b>1 Geraden und Strecken . . . . .</b>	46
<b>2 Winkel . . . . .</b>	47
<b>3 Grundkonstruktionen mit Zirkel und Lineal . . . . .</b>	48
<b>4 Projektion . . . . .</b>	49
<b>5 Geometrische Örter . . . . .</b>	50
<b>6 Dreiecke . . . . .</b>	50
6.1 Allgemeine Dreiecke . . . . .	50
6.2 Gleichschenklige Dreiecke . . . . .	51
6.3 Gleichseitige Dreiecke . . . . .	51
6.4 Rechtwinklige Dreiecke . . . . .	51

6.5	Besondere Geraden, Strecken und Kreise . . . . .	51
6.6	Flächensätze im rechtwinkligen Dreieck . . . . .	53
6.7	Kongruenz von Dreiecken . . . . .	54
6.8	Grundkonstruktionen des Dreiecks. . . . .	55
<b>7</b>	<b>Vierecke</b> . . . . .	56
7.1	Allgemeine Vierecke . . . . .	56
7.2	Trapeze . . . . .	57
7.3	Parallelogramme . . . . .	57
7.4	Rhomben . . . . .	57
7.5	Rechtecke. . . . .	58
7.6	Quadrat e . . . . .	58
7.7	Drachen . . . . .	58
7.8	Sehnenvierecke . . . . .	58
7.9	Tangentenvierecke . . . . .	59
<b>8</b>	<b>Reguläre <math>n</math>-Ecke</b> . . . . .	59
<b>9</b>	<b>Polygone</b> . . . . .	60
<b>10</b>	<b>Kreise</b> . . . . .	61
10.1	Definitionen . . . . .	61
10.2	Kreissektoren . . . . .	61
10.3	Kreissegmente . . . . .	62
10.4	Kreise und Geraden . . . . .	62
10.5	Winkelsätze am Kreis . . . . .	62
10.6	Eigenschaften von Sekanten und Sehnen. . . . .	63
10.7	Tangentenkonstruktionen . . . . .	63
10.8	Sätze über Sehnen, Sekanten, Tangenten. . . . .	63
10.9	Bogenmaß . . . . .	64
<b>11</b>	<b>Symmetrie</b> . . . . .	64
11.1	Punktsymmetrie . . . . .	64
11.2	Achsensymmetrie . . . . .	65
<b>12</b>	<b>Ähnlichkeit</b> . . . . .	65
12.1	Zentrische Streckung . . . . .	65
12.2	Strahlensätze . . . . .	65
12.3	Ähnliche Figuren . . . . .	66
12.4	Streckenteilungen. . . . .	66
<b>IV</b>	<b>Stereometrie</b> . . . . .	68
<b>1</b>	<b>Prismen</b> . . . . .	68
1.1	Allgemeine Prismen. . . . .	68
1.2	Parallelepiped und Würfel . . . . .	68
<b>2</b>	<b>Zylinder</b> . . . . .	69
2.1	Allgemeine Zylinder . . . . .	69
2.2	Gerade Kreiszylinder . . . . .	69
2.3	Hohlzylinder . . . . .	69
<b>3</b>	<b>Pyramiden</b> . . . . .	70
3.1	Allgemeine Pyramiden . . . . .	70
3.2	Gerade quadratische Pyramiden . . . . .	70
<b>4</b>	<b>Kegel</b> . . . . .	71
4.1	Allgemeine Kegel. . . . .	71
4.2	Gerade Kreiskegel . . . . .	71
<b>5</b>	<b>Cavalierisches Prinzip</b> . . . . .	72
<b>6</b>	<b>Pyramidenstümpfe und Kegelstümpfe</b> . . . . .	72
6.1	Pyramidenstümpfe . . . . .	72
6.2	Kegelstümpfe . . . . .	72
<b>7</b>	<b>Platonische Körper</b> . . . . .	73
<b>8</b>	<b>Kugeln</b> . . . . .	74
8.1	Definitionen . . . . .	74
8.2	Kugelsegmente . . . . .	74
8.3	Kugelsektoren . . . . .	75
8.4	Kugelschichten . . . . .	75

<b>V</b>	<b>Funktionen . . . . .</b>	76
1	<b>Definition und Darstellungen von Funktionen . . . . .</b>	76
1.1	Definitionen . . . . .	76
1.2	Funktionsgleichung . . . . .	76
1.3	Graph einer Funktion. . . . .	77
1.4	Wertetabelle einer Funktion . . . . .	77
2	<b>Verhalten von Funktionen . . . . .</b>	77
2.1	Monotone Funktionen . . . . .	77
2.2	Symmetrische Funktionen . . . . .	78
2.3	Beschränkte Funktionen . . . . .	79
2.4	Injektive Funktionen . . . . .	79
2.5	Surjektive Funktionen . . . . .	79
2.6	Bijektive Funktionen . . . . .	79
2.7	Periodische Funktionen . . . . .	79
2.8	Umkehrfunktionen . . . . .	79
2.9	Reelle und komplexe Funktionen . . . . .	80
3	<b>Einteilung der elementaren Funktionen . . . . .</b>	80
4	<b>Ganze rationale Funktionen . . . . .</b>	82
4.1	Konstante Funktionen . . . . .	82
4.2	Lineare Funktionen . . . . .	82
4.3	Quadratische Funktionen . . . . .	84
4.4	Kubische Funktionen. . . . .	87
4.5	Ganze rationale Funktionen $n$ -ten Grades . . . . .	88
4.6	Horner-Schema . . . . .	89
5	<b>Gebrochene rationale Funktionen . . . . .</b>	89
5.1	Nullstellen, Pole, Asymptoten . . . . .	89
5.2	Partialbruchzerlegung . . . . .	92
6	<b>Irrationale Funktionen . . . . .</b>	93
7	<b>Transzendente Funktionen . . . . .</b>	95
7.1	Exponentialfunktionen . . . . .	95
7.2	Logarithmusfunktionen . . . . .	96
<b>VI</b>	<b>Trigonometrie . . . . .</b>	97
1	<b>Definition der trigonometrischen Funktionen . . . . .</b>	97
2	<b>Trigonometrische Funktionen für beliebige Winkel . . . . .</b>	98
3	<b>Beziehungen für den gleichen Winkel . . . . .</b>	99
4	<b>Graphen der trigonometrischen Funktionen . . . . .</b>	99
5	<b>Reduktionsformeln . . . . .</b>	100
6	<b>Additionstheoreme . . . . .</b>	101
7	<b>Sinussatz und Kosinussatz . . . . .</b>	102
8	<b>Grundaufgaben der Dreiecksberechnung . . . . .</b>	103
9	<b>Arkusfunktionen . . . . .</b>	104
<b>VII</b>	<b>Analytische Geometrie . . . . .</b>	106
1	<b>Koordinatensysteme . . . . .</b>	106
1.1	Kartesisches Koordinatensystem der Ebene . . . . .	106
1.2	Polarkoordinatensystem der Ebene . . . . .	106
1.3	Zusammenhang zwischen kartesischen und Polarkoordinaten . . . . .	107
1.4	Kartesisches Koordinatensystem des Raums . . . . .	108
2	<b>Geraden . . . . .</b>	108
2.1	Geradengleichungen . . . . .	108
2.2	Abstände . . . . .	110
3	<b>Kreise . . . . .</b>	111
3.1	Kreisgleichungen . . . . .	111
3.2	Berechnung von Kreisen . . . . .	112
3.3	Kreis und Gerade . . . . .	113
4	<b>Kugeln . . . . .</b>	115

<b>5 Kegelschnitte . . . . .</b>	115
5.1 Ellipsen . . . . .	116
5.2 Hyperbeln . . . . .	118
5.3 Parabeln . . . . .	120
5.4 Anwendungen . . . . .	122
<b>6 Graphisches Lösen von Gleichungen . . . . .</b>	124
<b>7 Vektoren . . . . .</b>	126
7.1 Definitionen . . . . .	126
7.2 Multiplikation eines Vektors mit einem Skalar . . . . .	127
7.3 Addition und Subtraktion zweier Vektoren . . . . .	127
7.4 Komponentendarstellung von Vektoren in der Ebene . . . . .	127
7.5 Komponentendarstellung von Vektoren im Raum . . . . .	128
7.6 Skalarprodukt . . . . .	129
7.7 Vektorprodukt . . . . .	129
7.8 Spatprodukt . . . . .	130
<b>VIII Differential- und Integralrechnung . . . . .</b>	131
<b>1 Folgen . . . . .</b>	131
1.1 Grundbegriffe . . . . .	131
1.2 Arithmetische Folgen . . . . .	131
1.3 Geometrische Folgen . . . . .	132
1.4 Grenzwert einer Folge . . . . .	132
1.5 Tabelle einiger Grenzwerte . . . . .	132
1.6 Divergente Folgen . . . . .	133
<b>2 Reihen . . . . .</b>	133
2.1 Definitionen . . . . .	133
2.2 Arithmetische Reihen . . . . .	134
2.3 Geometrische Reihen . . . . .	134
2.4 Harmonische Reihen . . . . .	135
2.5 Alternierende Reihen . . . . .	135
<b>3 Grenzwerte von Funktionen . . . . .</b>	136
3.1 Grenzwert an einer endlichen Stelle . . . . .	136
3.2 Einseitige Grenzwerte . . . . .	136
3.3 Grenzwert im Unendlichen . . . . .	137
3.4 Rechenregeln für Grenzwerte . . . . .	137
3.5 Unbestimmte Ausdrücke . . . . .	137
3.6 Stetigkeit einer Funktion . . . . .	137
3.7 Unstetigkeitsstellen . . . . .	138
<b>4 Ableitung einer Funktion . . . . .</b>	138
4.1 Definitionen . . . . .	138
4.2 Differentiationsregeln . . . . .	139
4.3 Höhere Ableitungen . . . . .	141
4.4 Ableitungen einiger algebraischer Funktionen . . . . .	141
4.5 Ableitungen einiger transzenter Funktionen . . . . .	142
4.5.1 Trigonometrische Funktionen . . . . .	142
4.5.2 Logarithmusfunktionen . . . . .	143
4.5.3 Exponentialfunktionen . . . . .	143
4.5.4 Zusammenfassende Übersicht . . . . .	143
4.6 Sekanten und Tangenten . . . . .	143
4.7 Extremwerte von Funktionen . . . . .	144
4.8 Krümmungsverhalten von Funktionen . . . . .	144
4.9 Wendepunkte von Funktionen . . . . .	145
4.10 Kurvendiskussion . . . . .	146
4.11 Anwendungsbeispiele . . . . .	146
4.12 Näherungsverfahren zur Nullstellenbestimmung . . . . .	147
4.12.1 Regula falsi . . . . .	147
4.12.2 Newtonsches Verfahren . . . . .	147
<b>5 Integralrechnung . . . . .</b>	148
5.1 Unbestimmtes Integral . . . . .	148
5.2 Integrationsregeln . . . . .	148
5.3 Unbestimmte Integrale einiger algebraischer Funktionen . . . . .	150
5.4 Unbestimmte Integrale einiger transzenter Funktionen . . . . .	150
5.5 Bestimmtes Integral . . . . .	151

5.6	Hauptsatz der Differential- und Integralrechnung . . . . .	152
5.7	Eigenschaften des bestimmten Integrals . . . . .	152
5.8	Einige Anwendungen der Integralrechnung . . . . .	153
<b>6</b>	<b>Funktionenreihen . . . . .</b>	<b>155</b>
6.1	Definitionen . . . . .	155
6.2	Potenzreihen . . . . .	156
6.3	Fourier-Reihen . . . . .	157
<b>Anhang</b>		
<b>A</b>	<b>Symbole und Bezeichnungsweisen . . . . .</b>	<b>161</b>
<b>B</b>	<b>Mathematische Konstanten . . . . .</b>	<b>163</b>
<b>C</b>	<b>Das griechische Alphabet . . . . .</b>	<b>163</b>

# Physik

<b>I</b>	<b>Einführung . . . . .</b>	<b>165</b>
1	<b>Physikalische Größen . . . . .</b>	<b>165</b>
1.1	Skalare . . . . .	165
1.2	Vektoren . . . . .	165
2	<b>SI-System . . . . .</b>	<b>165</b>
<b>II</b>	<b>Mechanik . . . . .</b>	<b>166</b>
1	<b>Kinematik des Massenpunktes . . . . .</b>	<b>166</b>
1.1	Eindimensionale Bewegungen . . . . .	166
1.1.1	Geschwindigkeit . . . . .	166
1.1.2	Beschleunigung . . . . .	167
1.1.3	Freier Fall . . . . .	167
1.1.4	Senkrechter Wurf . . . . .	168
1.2	Zusammengesetzte Bewegungen . . . . .	168
1.2.1	Schiefer Wurf . . . . .	169
1.3	Kreisbewegung . . . . .	170
1.3.1	Bahngeschwindigkeit . . . . .	170
1.3.2	Winkelgeschwindigkeit . . . . .	170
1.3.3	Kreisfrequenz . . . . .	170
1.3.4	Winkelbeschleunigung . . . . .	170
2	<b>Dynamik . . . . .</b>	<b>171</b>
2.1	Newton'sche Axiome . . . . .	171
2.2	Kraft . . . . .	171
2.3	Impuls . . . . .	174
2.4	Arbeit, Leistung, Wirkungsgrad und Energie . . . . .	174
2.5	Stoßprozesse . . . . .	176
2.6	Rotation . . . . .	177
2.7	Gravitation . . . . .	180
3	<b>Elastische Verformung fester Körper . . . . .</b>	<b>180</b>
4	<b>Mechanik der ruhenden Flüssigkeiten und Gase . . . . .</b>	<b>181</b>
4.1	Druck . . . . .	181
4.2	Kompressibilität . . . . .	181
4.3	Volumenausdehnung . . . . .	181
4.4	Hydrostatischer Druck in Flüssigkeiten . . . . .	181
4.5	Schweredruck in Gasen . . . . .	182
4.6	Auftrieb . . . . .	182
5	<b>Hydrodynamik . . . . .</b>	<b>182</b>
5.1	Kontinuitätsgleichung . . . . .	182
5.2	Bernoulli-Gleichung . . . . .	182
5.3	Innere Reibung . . . . .	183
<b>III</b>	<b>Thermodynamik . . . . .</b>	<b>183</b>
1	<b>Grundbegriffe . . . . .</b>	<b>183</b>

<b>2</b>	<b>Temperatur</b>	183
2.1	Einheiten	183
2.2	Temperaturmessung	184
<b>3</b>	<b>Thermische Ausdehnung</b>	184
3.1	Feste Stoffe	184
3.2	Flüssigkeiten	184
3.3	Gase	185
<b>4</b>	<b>Ideale Gase</b>	185
4.1	Allgemeine Zustandsgleichung idealer Gase	185
4.2	Kinetische Gastheorie	186
4.3	Wärmeenergie	186
4.4	Zustandsänderungen idealer Gase	187
4.5	Kreisprozesse	188
<b>5</b>	<b>Wärmeübertragung</b>	188
5.1	Wärmeleitung	188
5.2	Wärmeströmung	189
5.3	Wärmestrahlung	189
<b>IV</b>	<b>Schwingungen</b>	189
<b>1</b>	<b>Freie ungedämpfte harmonische Schwingungen</b>	189
<b>2</b>	<b>Gedämpfte Schwingungen</b>	190
<b>3</b>	<b>Erzwungene Schwingungen</b>	190
<b>4</b>	<b>Überlagerung harmonischer Schwingungen</b>	191
4.1	Schwingungsrichtung parallel zueinander	191
4.2	Schwingungsrichtung senkrecht zueinander	192
<b>V</b>	<b>Wellen</b>	193
<b>1</b>	<b>Harmonische Wellen</b>	193
1.1	Ausbreitung	193
1.2	Interferenz	194
<b>2</b>	<b>Huygensches Prinzip</b>	195
2.1	Reflexion	196
2.2	Brechung	196
2.3	Beugung	196
<b>3</b>	<b>Dopplereffekt</b>	197
<b>VI</b>	<b>Akustik</b>	198
<b>1</b>	<b>Schallausbreitung</b>	199
<b>2</b>	<b>Reflexion, Transmission, Absorption</b>	199
<b>3</b>	<b>Ultraschall</b>	199
<b>VII</b>	<b>Optik</b>	200
<b>1</b>	<b>Eigenschaften des Lichtes</b>	200
<b>2</b>	<b>Geometrische Optik</b>	200
2.1	Reflexion des Lichtes	200
2.2	Brechungsgesetz	202
2.3	Optische Geräte	206
<b>3</b>	<b>Wellenoptik</b>	208
3.1	Interferenz	208
3.2	Beugung	209
<b>4</b>	<b>Photometrie</b>	210
4.1	Strahlungsphysikalische Größen	211
4.2	Lichttechnische Größen	212
<b>5</b>	<b>Licht als Korpuskel</b>	213
<b>VIII</b>	<b>Anhang</b>	215
<b>A</b>	<b>Physikalische Größen und Einheiten</b>	215
<b>B</b>	<b>Zahlenwerte physikalischer Größen</b>	216

## Werkstoffkunde

<b>I</b>	<b>Stoffe</b>	217
1	Eigenschaften der Stoffe	217
2	Atombau und Periodensystem	217
3	Aufbau der festen Körper	220
4	Chemische Grundzusammenhänge	222
5	Elektrochemie	224
<b>II</b>	<b>Elektrische Leitfähigkeit</b>	225
1	Leitungsmechanismus	225
2	Isolator	226
3	Halbleiter	227
4	Normalleiter	227
5	Supraleiter	227
6	Halleffekt	228
<b>III</b>	<b>Elektrische Leiter</b>	230
1	Normalleiter	230
2	Halbleiter	230
3	Supraleiter	233
<b>IV</b>	<b>Magnetische Leitfähigkeit</b>	233
1	Modellvorstellung	233
2	Verhalten von Materie im Magnetfeld	233
3	Magnetisierung	235
4	Magnetisierungskurve	235
5	Permeabilität	236
<b>V</b>	<b>Magnetika</b>	230
1	Metalloxide (Ferrite)	238
2	Weichmagnetika	238
3	Hartmagnetika (Dauermagnete) (DIN 17410)	242
<b>VI</b>	<b>Dielektrische Eigenschaften</b>	230
1	Modellvorstellungen zur dielektrischen Polarisation	245
2	Dielektrische Materialeinteilung	246
3	Elektrische Materialeinteilung	246
<b>VII</b>	<b>Dielektrika</b>	248
1	Natürliche anorganische Dielektrika	248
2	Natürliche organische Dielektrika	249
3	Künstliche anorganische Dielektrika	249
4	Künstliche organische Dielektrika	249
5	Silikone	250
	Literaturhinweise	250

## Grundlagen der Elektrotechnik

<b>I</b>	<b>Grundbegriffe</b>	253
1	Aufbau der Atome	253
2	Ladungsträger	253
3	Spannung	253

<b>4</b>	<b>Strom</b>	253
4.1	Bewegung von Ladungsträgern	253
4.2	Stromstärke	254
4.3	Stromdichte	254
<b>5</b>	<b>Das Ohmsche Gesetz</b>	254
<b>6</b>	<b>Spezifischer Widerstand, Leitfähigkeit</b>	254
<b>7</b>	<b>Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes von Metallen</b>	255
<b>II</b>	<b>Der Gleichstromkreis</b>	256
<b>1</b>	<b>Zählpfeilsysteme</b>	256
<b>2</b>	<b>Kirchhoffsche Gesetze</b>	256
2.1	Knotenregel	256
2.2	Maschenregel	256
<b>3</b>	<b>Schaltung von Widerständen</b>	257
3.1	Reihenschaltung	257
3.2	Parallelschaltung	257
3.3	Stern-Dreieck-Umwandlung	257
3.4	Meßbereichserweiterung	258
3.4.1	Voltmeter	258
3.4.2	Ampermeter	259
<b>4</b>	<b>Ersatzspannungsquelle</b>	259
4.1	Kombination von Spannungsquellen	259
4.1.1	Reihenschaltung	260
4.1.2	Parallelschaltung	260
<b>5</b>	<b>Ersatzstromquelle</b>	260
<b>6</b>	<b>Netzwerkberechnung</b>	260
6.1	Gemischte Schaltungen	261
6.2	Überlagerungsverfahren	261
6.3	Ersatzspannungsquelle	262
6.4	Nichtlineare Gleichstromkreise	262
<b>7</b>	<b>Energie, Leistung, Wirkungsgrad</b>	263
7.1	Leistungsanpassung	263
7.2	Leistungsverlust auf Leitungen	264
7.3	Wirkungsgrad	264
7.4	Umwandlung elektrischer Energie	264
7.4.1	Wärme	264
7.4.2	Mechanische Energie	264
<b>III</b>	<b>Das Elektrische Feld</b>	265
<b>1</b>	<b>Grundgrößen</b>	265
1.1	Kräfte zwischen Ladungen	265
1.2	Feldstärke	266
1.3	Feldlinien	266
1.4	Potential, Spannung	266
1.5	Äquipotentiallinien	267
1.6	Elektrischer Fluß	267
1.7	Energie geladener Teilchen im elektrischen Feld	267
<b>2</b>	<b>Materie im elektrischen Feld</b>	268
2.1	Leiter	268
2.2	Nichtleiter	268
<b>3</b>	<b>Kondensatoren</b>	268
3.1	Kapazität	269
3.1.1	Plattenkondensator	269
3.1.2	Spezielle Kondensatoren	269
3.2	Schaltungen mit Kondensatoren	270
3.2.1	Reihenschaltung	270
3.2.2	Parallelschaltung	270
3.2.3	Gemischte Schaltungen	271
3.3	Energie des elektrostatischen Feldes	271
3.4	Laden und Entladen eines Kondensators	272
3.5	RC-Reihenschaltung	273

<b>IV Das Magnetische Feld . . . . .</b>	274
<b>1 Feldlinien . . . . .</b>	274
1.1 Dauermagnet . . . . .	274
1.2 Stromdurchflossene Leiter . . . . .	274
1.3 Stromdurchflossene Spule . . . . .	274
1.4 Magnetfeld der Erde . . . . .	275
<b>2 Magnetische Grundgrößen . . . . .</b>	275
2.1 Feldstärke . . . . .	275
2.2 Fluß, Flußdichte . . . . .	278
<b>3 Kräfte im Magnetfeld . . . . .</b>	279
3.1 Kräfte auf bewegliche Ladungsträger . . . . .	279
3.2 Stromdurchflossener Leiter . . . . .	279
3.3 Magnetisches Moment . . . . .	280
3.4 Kräfte zwischen zwei parallelen Leitern . . . . .	280
3.5 Hall-Effekt . . . . .	281
<b>4 Energie des Magnetfeldes . . . . .</b>	282
<b>5 Materie im Magnetfeld . . . . .</b>	282
5.1 Diamagnetismus . . . . .	283
5.2 Paramagnetismus . . . . .	283
5.3 Ferromagnetismus . . . . .	284
5.3.1 Magnetisierungskurve . . . . .	284
5.3.2 Verlauf der Permeabilität . . . . .	285
5.3.3 Temperaturabhängigkeit . . . . .	285
5.3.4 Magnetostriktion . . . . .	286
5.4 Antiferromagnetismus . . . . .	286
5.5 Ferrimagnetismus . . . . .	286
<b>6 Magnetische Kreise . . . . .</b>	286
6.1 Magnetische Spannung . . . . .	286
6.2 Magnetischer Widerstand . . . . .	287
6.3 Unverzweigte Kreise . . . . .	287
6.4 Verzweigte Kreise . . . . .	288
<b>IV Das Magnetische Feld . . . . .</b>	289
<b>1 Induktion bei Änderung der Fläche . . . . .</b>	289
<b>2 Induktion bei Änderung des Magnetfeldes . . . . .</b>	291
<b>3 Die Induktivität einer Spule . . . . .</b>	291
3.1 Selbstinduktion . . . . .	291
3.2 Gegeninduktion . . . . .	292
3.3 Energie im Magnetfeld einer Spule . . . . .	293
3.4 Ein- und Ausschaltvorgänge . . . . .	293
3.5 Zusammenschalten von Induktivitäten . . . . .	294
<b>V Wechselstrom . . . . .</b>	294
<b>1 Grundbegriffe des Wechselstroms . . . . .</b>	294
1.1 Erzeugung einer sinusförmigen Wechselspannung . . . . .	294
1.2 Phasenverschiebung . . . . .	295
1.3 Effektivwert . . . . .	295
1.4 Darstellungsarten . . . . .	296
1.4.1 Zeigerdarstellung von Sinusgrößen . . . . .	296
1.4.2 Darstellung von Sinusgrößen in der komplexen Zahlenebene . . . . .	296
<b>2 Grundschatzelemente im Wechselstromkreis . . . . .</b>	297
2.1 Ohmscher Widerstand . . . . .	297
2.2 Kapazität . . . . .	297
2.3 Spule . . . . .	297
<b>3 Schaltungen von Wechselstromwiderständen . . . . .</b>	299
3.1 Reihenschaltung von Wechselstromwiderständen . . . . .	299
3.1.1 Wirkwiderstand und Induktivität . . . . .	299
3.1.2 Wirkwiderstand und Kapazität . . . . .	300
3.1.3 Wirkwiderstand, Induktivität und Kapazität . . . . .	301

3.2	Parallelschaltung von Wechselstromwiderständen . . . . .	303
3.2.1	Wirkwiderstand und Induktivität . . . . .	303
3.2.2	Wirkwiderstand und Kapazität . . . . .	304
3.2.3	Wirkwiderstand, Induktivität und Kapazität . . . . .	305
3.3	Gemischte Schaltungen . . . . .	306
<b>4</b>	<b>Passive Filter . . . . .</b>	<b>307</b>
4.1	Hochpaßschaltung mit $RC$ - und $RL$ -Glied . . . . .	307
4.2	Tiefpaßschaltung mit $RC$ - und $RL$ -Glied . . . . .	308
4.3	Bandpaßschaltung . . . . .	309
<b>5</b>	<b>Schwingkreise . . . . .</b>	<b>309</b>
5.1	Reihenresonanz . . . . .	310
5.2	Parallelresonanz . . . . .	310
<b>6</b>	<b>Leistung und Arbeit im Wechselstromkreis . . . . .</b>	<b>310</b>
6.1	Leistung und Arbeit bei Phasengleichheit von Spannung und Strom. . . . .	310
6.2	Leistung und Arbeit bei Phasenverschiebung von Spannung und Strom . . . . .	311
6.3	Leistung in komplexer Schreibweise . . . . .	312
6.4	Leistungsfaktor . . . . .	312
<b>VII</b>	<b>Drehstrom . . . . .</b>	<b>313</b>
<b>1</b>	<b>Erzeugung von mehrphasigem Wechselstrom . . . . .</b>	<b>313</b>
<b>2</b>	<b>Phasenverkettung . . . . .</b>	<b>313</b>
2.1	Sternschaltung . . . . .	313
2.2	Dreieckschaltung . . . . .	314
<b>3</b>	<b>Leistung des Dreiphasenstroms . . . . .</b>	<b>315</b>
<b>4</b>	<b>Das unsymmetrische Dreiphasensystem. . . . .</b>	<b>315</b>
4.1	Das unsymmetrische Dreileiternetz . . . . .	315
4.2	Das unsymmetrische Vierleiternetz . . . . .	316

## Elektronik

<b>I</b>	<b>Leitungsmechanismen bei Halbleitern, pn-Übergang . . . . .</b>	<b>319</b>
1	Einführung in die Halbleiterphysik . . . . .	319
2	Der pn-Übergang . . . . .	321
<b>II</b>	<b>Dioden . . . . .</b>	<b>322</b>
1	Kennlinien . . . . .	322
2	Kenndaten und Grenzwerte . . . . .	323
3	Kennzeichnung von Halbleiter-Bauelementen . . . . .	326
4	Diodarten. . . . .	327
4.1	Kapazitätsdioden . . . . .	328
4.2	Schalterdioden . . . . .	329
4.3	Schottky-Dioden . . . . .	330
4.4	Gleichrichter-Dioden . . . . .	330
4.5	Z-Dioden . . . . .	331
5	Anwendungsschaltungen . . . . .	332
5.1	Begrenzerschaltungen . . . . .	332
5.2	Gleichrichter . . . . .	333
5.2.1	Einweggleichrichter (M1). . . . .	333
5.2.2	Mittelpunktschaltung (M2) . . . . .	335
5.2.3	Brückengleichrichterschaltung (B2) . . . . .	336
5.3	Spannungsvervielfacher . . . . .	338
5.4	Diode als Konstantspannungsquelle (Z-Diode) . . . . .	339
<b>III</b>	<b>Mehrschichtdioden und -trioden . . . . .</b>	<b>341</b>
1	Vierschichtdioden . . . . .	341
2	Thyristoren . . . . .	342

<b>3</b>	<b>Diac</b>	345
<b>4</b>	<b>Triac</b>	346
<b>5</b>	<b>Schutz der Dioden und Trioden</b>	346
<b>6</b>	<b>Zündmethoden</b>	347
<b>IV</b>	<b>Transistoren</b>	349
<b>1</b>	<b>Bipolare Transistoren</b>	349
1.1	Transistoreffekt	349
1.2	Transistorkennlinien	350
1.3	Kenn- und Grenzwerte des Transistors	352
<b>2</b>	<b>Feldeffektransistoren (FET)</b>	356
2.1	Aufbau und Wirkungsweise des Sperrschicht-FET	356
2.2	Aufbau und Wirkungsweise des MOSFET	358
2.3	Kennlinien von FET	359
2.4	Kennwerte von FET	360
<b>V</b>	<b>Besondere Halbleiter-Bauelemente</b>	365
<b>1</b>	<b>Unijunction-Transistor (Doppelbasisdiode)</b>	365
<b>2</b>	<b>Darlington-Transistor</b>	366
<b>3</b>	<b>VMOS-Transistoren</b>	367
<b>4</b>	<b>SIPMOS-Transistoren</b>	368
<b>5</b>	<b>IGBT</b>	369
<b>VI</b>	<b>Analoge Verstärker</b>	371
<b>1</b>	<b>Bipolarer Transistor als Verstärker</b>	371
1.1	Grundschaltungen	373
1.2	Arbeitspunktstabilisierung	375
1.3	Emitterschaltungen	379
1.4	Kollektorschaltungen	381
1.5	Basisschaltung	382
<b>2</b>	<b>Feldeffekt-Transistor als Verstärker</b>	383
2.1	Arbeitspunkteinstellung und -stabilisierung	383
2.2	Grundschaltungen von FET	385
2.2.1	Sourceschaltung	386
2.2.2	Drainschaltung	388
2.2.3	Gateschaltung	389
2.3	Weitere Anwendungen	390
<b>3</b>	<b>Mehrstufige Verstärker</b>	392
<b>VII</b>	<b>Endstufen</b>	397
<b>1</b>	<b>Betriebsarten</b>	397
<b>2</b>	<b>Schaltungen</b>	397
<b>VIII</b>	<b>Operationsverstärker</b>	402
<b>1</b>	<b>Einführung</b>	402
<b>2</b>	<b>Differenzverstärker</b>	402
<b>3</b>	<b>Grundlagen des OP</b>	403
<b>4</b>	<b>Operationsverstärker als Verstärker</b>	406
4.1	Verstärker mit frequenzunabhängiger Gegenkopplung	406
4.2	Verstärker mit frequenzabhängiger Gegenkopplung	409
4.3	OP als Leistungsverstärker	411
4.4	Aktive Filterschaltungen	412
<b>IX</b>	<b>Elektronische Schalter, Kippstufen</b>	413
<b>1</b>	<b>Transistor als Schalter</b>	413
<b>2</b>	<b>Kippschaltungen mit Transistoren</b>	417
2.1	Bistabile Kippstufe	417
2.2	Monostabile Kippstufe	418
2.3	Astabile Kippstufe	419
2.4	Triggerschaltungen	419

<b>3 Operationsverstärker als Schalter . . . . .</b>	420
<b>4 Kippschaltungen mit Operationsverstärker . . . . .</b>	421
4.1 Triggerschaltungen mit Operationsverstärker. . . . .	421
4.2 Astabile Kippstufe mit Operationsverstärker . . . . .	422
4.3 Monostabile Kippstufe mit Operationsverstärker . . . . .	423
4.4 Bistabile Kippstufe mit Operationsverstärker. . . . .	423
<b>5 Zeitgeber 555 . . . . .</b>	424
<b>6 Trigger TCA 345 A . . . . .</b>	425
<b>X Oszillatoren . . . . .</b>	425
1 Allgemeines . . . . .	425
2 Sinusgeneratoren (RC-Oszillatoren) . . . . .	426
3 Funktionsgeneratoren . . . . .	428
<b>XI Schaltungstechniken . . . . .</b>	429
1 Integrierte Schaltungen . . . . .	429
2 SMD-Technik. . . . .	431
<b>XII Optoelektronik . . . . .</b>	433
1 Grundsätzliche Überlegungen . . . . .	433
2 Optoelektronische Bauelemente . . . . .	433
2.1 Fotowiderstand (LDR – light dependent resistor) . . . . .	433
2.2 Fotodiode und Fotoelement . . . . .	434
2.3 Fototransistoren . . . . .	436
2.4 Lumineszenzdioden und Flüssigkristalle . . . . .	437
3 Anzeigeeinheiten . . . . .	439
4 Signalübertragung mit Optokoppler . . . . .	440
5 Faseroptische Übertragungsmittel . . . . .	441
<b>XIII Analog-Digital-Wandler . . . . .</b>	441
1 Grundlagen . . . . .	441
2 Spannungs-Frequenz-Wandler . . . . .	442
3 Sägezahnverfahren . . . . .	442
4 Dual-Slope-Verfahren . . . . .	442
5 Flash-Wandler . . . . .	443
6 Wandler nach dem Wägeverfahren . . . . .	443
7 Integrierte Wandler . . . . .	444
<b>XIV Digital-Analog-Wandler . . . . .</b>	444
1 Grundlagen . . . . .	444
2 D/A-Wandler-Varianten . . . . .	444
3 Integrierte Wandler . . . . .	445
<b>XV Leistungselektronik . . . . .</b>	447
1 Gleichrichterschaltungen/Stromversorgung . . . . .	447
2 Anwendungsschaltungen . . . . .	453
3 Schaltnetzteile . . . . .	455
4 Elektronische Schalter . . . . .	457
5 Elektronische Steller. . . . .	458

## Technische Kommunikation

<b>I Grundlagen der zeichnerischen Darstellung . . . . .</b>	461
1 Zeichengeräte. . . . .	461
2 Normen für Technische Zeichnungen . . . . .	462

<b>3</b>	<b>Darstellung und Bemaßung von Körpern . . . . .</b>	462
<b>4</b>	<b>Normteile und Konstruktionselemente . . . . .</b>	476
<b>5</b>	<b>Wichtige Normteile des Maschinenbaus . . . . .</b>	489
<b>6</b>	<b>Nutzen der Normung . . . . .</b>	493
<b>II</b>	<b>Schaltungsunterlagen . . . . .</b>	447
<b>1</b>	<b>Schaltzeichen nach DIN . . . . .</b>	496
<b>2</b>	<b>Elektrische Betriebsmittel . . . . .</b>	499
<b>3</b>	<b>Schaltungsunterlagen der Energietechnik . . . . .</b>	502
<b>4</b>	<b>Schaltungsunterlagen der Elektronik . . . . .</b>	506
4.1	Allgemeines . . . . .	506
4.2	Schaltzeichen nach DIN 40 900 Teil 12 Binäre Elemente . . . . .	506
4.3	Entwurf von Schaltungen. . . . .	509
4.3.1	Verdrahtungsplan mit Universalplatinen . . . . .	509
4.3.2	Entwurf und Herstellung gedruckter Schaltungen . . . . .	509
<b>5</b>	<b>Projektierung . . . . .</b>	510
<b>III</b>	<b>Schaltungssynthese und -analyse . . . . .</b>	511
<b>1</b>	<b>Beispiele aus der Elektrotechnik . . . . .</b>	511
<b>2</b>	<b>Beispiele aus der Elektronik . . . . .</b>	511
<b>IV</b>	<b>CAD-Technik . . . . .</b>	514
<b>1</b>	<b>Allgemeines . . . . .</b>	514
<b>2</b>	<b>Hardware und Software . . . . .</b>	514
<b>3</b>	<b>Erstellen von Schaltplänen . . . . .</b>	514
<b>4</b>	<b>Erstellen von Layouts . . . . .</b>	514
<b>5</b>	<b>Anwendungen in der Elektronik . . . . .</b>	517
<b>6</b>	<b>Auswahl von CAD-Systemen . . . . .</b>	517

## Datentechnik

<b>I</b>	<b>Digitaltechnik . . . . .</b>	521
<b>1</b>	<b>Grundbegriffe der Digitaltechnik . . . . .</b>	521
<b>2</b>	<b>Logische Grundschaltungen . . . . .</b>	522
2.1	Grundverknüpfungen. . . . .	522
2.1.1	NICHT-Verknüpfung . . . . .	522
2.1.2	UND-Verknüpfung . . . . .	522
2.1.3	ODER-Verknüpfung . . . . .	523
2.2	Realisierungsmöglichkeiten logischer Verknüpfungen. . . . .	523
<b>3</b>	<b>Schaltalgebra . . . . .</b>	525
3.1	Allgemeines . . . . .	525
3.2	Normalform einer binären Funktion . . . . .	525
3.2.1	Disjunktive Normalform. . . . .	525
3.2.2	Konjunktive Normalform . . . . .	526
3.2.3	Umwandeln der Gleichung in Schaltzeichen . . . . .	526
3.2.4	Schaltungsminimierung mit Hilfe der Schaltalgebra . . . . .	526
3.2.5	Umsetzung in NAND- oder NOR-Technik . . . . .	526
3.2.6	KV-Tabelle . . . . .	529
3.2.7	Analyse logischer Schaltungen. . . . .	529
3.2.8	Synthese logischer Schaltungen . . . . .	530
<b>4</b>	<b>Zahlensysteme in der Digital- und Datenverarbeitung . . . . .</b>	532
4.1	Dualsystem . . . . .	532
4.1.1	Bildung der Dualzahlen und Umwandlung in Dezimalzahlen . . . . .	532
4.1.2	Umwandlung dezimal nach dual . . . . .	532
4.2	Hexadezimalsystem . . . . .	534

4.3	Rechnen mit Dualzahlen . . . . .	534
4.4	Zahlen in Rechenanlagen . . . . .	534
4.4.1	Darstellung von Zahlen . . . . .	534
4.4.2	Einer- und Zweierkomplement . . . . .	536
4.4.3	Subtraktion mit Hilfe des Komplements. . . . .	536
<b>5</b>	<b>Codes . . . . .</b>	<b>537</b>
5.1	Allgemeines . . . . .	537
5.2	Binär-Code . . . . .	537
5.3	BCD-Code . . . . .	537
5.3.1	BCD-Dual-Code . . . . .	537
5.3.2	3-Excess-Code . . . . .	537
5.3.3	Aiken-Code . . . . .	538
5.4	Gray-Code . . . . .	538
5.5	Codierung alphanumerischer Zeichen . . . . .	539
5.6	Fehlererkennung und Redundanz . . . . .	540
5.6.1	Einfache Prüfung auf Parität . . . . .	540
5.6.2	Kreuzsicherungsprüfung . . . . .	541
5.6.3	Hamming-Code . . . . .	541
<b>6</b>	<b>Digitale Grundschaltungen . . . . .</b>	<b>542</b>
6.1	Allgemeines . . . . .	542
6.2	Schaltnetze . . . . .	542
6.2.1	Rechennetze . . . . .	542
6.2.1.1	Halbaddierer . . . . .	542
6.2.1.2	Volladdierer . . . . .	542
6.2.1.3	Serieller n-Bit-Addierer . . . . .	543
6.2.1.4	Paralleler n-Bit-Addierer . . . . .	544
6.2.1.5	Subtrahierer . . . . .	544
6.2.1.6	Addierer für BCD-Dualzahlen . . . . .	545
6.2.2	Komparatoren . . . . .	545
6.2.2.1	Einfacher Komparator . . . . .	545
6.2.2.2	Komparator mit Größer- und Kleiner-Vergleich . . . . .	546
6.2.3	Codewandler und Decoder . . . . .	547
6.2.3.1	Codewandler . . . . .	547
6.2.3.2	1-aus-n-Decoder . . . . .	548
6.2.4	Multiplexer und Demultiplexer . . . . .	548
6.2.4.1	Multiplexer . . . . .	549
6.2.4.2	Demultiplexer . . . . .	550
6.3	Schaltwerke . . . . .	550
6.3.1	Speicherbausteine . . . . .	550
6.3.1.1	Allgemeines Flipflop . . . . .	550
6.3.1.2	RS-Flipflop . . . . .	551
6.3.1.3	Flipflops mit dominierenden Eingängen . . . . .	551
6.3.1.4	D-Flipflop . . . . .	551
6.3.1.5	JK-Flipflop . . . . .	552
6.3.1.6	Master-Slave-JK-Flipflop . . . . .	552
6.3.1.7	T-Flipflop . . . . .	553
6.3.2	Grundschaltungen aus Speicherbausteinen . . . . .	553
6.3.2.1	Register . . . . .	553
6.3.2.2	Schieberegister . . . . .	554
6.3.2.3	Frequenzteiler . . . . .	555
6.3.2.4	Zähler . . . . .	556
6.3.2.4.1	Asynchroner Zähler . . . . .	556
6.3.2.4.2	Asynchroner BCD-Vorwärtszähler . . . . .	558
6.3.2.4.3	Synchroner Dual-Vorwärts-1-Zähler . . . . .	559
6.3.2.4.4	Zähler für mehrere Decaden . . . . .	559
6.4	Sonderschaltungen 560	
6.4.1	Monoflops . . . . .	560
6.4.2	Astabile Kippstufen . . . . .	561
<b>II</b>	<b>Integrierte Schaltkreise der Digitaltechnik . . . . .</b>	<b>562</b>
<b>1</b>	<b>Allgemeines . . . . .</b>	<b>562</b>
<b>2</b>	<b>Umgang mit integrierten Schaltungen . . . . .</b>	<b>563</b>
<b>3</b>	<b>Daten und Begriffe der Logikschaltungen . . . . .</b>	<b>563</b>
3.1	Grenz- und Kenndaten . . . . .	563
3.2	Pegel . . . . .	563

3.3	Störsicherheit . . . . .	564
3.4	Lasteinheit . . . . .	564
3.5	Temperaturbereich . . . . .	564
3.6	Gatterlaufzeit . . . . .	565
3.7	Verlustleistung . . . . .	565
<b>4</b>	<b>TTL-Familie . . . . .</b>	<b>566</b>
4.1	Eigenschaften und Kenndaten . . . . .	566
4.2	Standard-TTL . . . . .	566
4.3	Schaltungen mit 3-state . . . . .	569
4.4	Schottky-TTL und Low-Power-Schotky . . . . .	570
<b>5</b>	<b>Emittergekoppelte Logik . . . . .</b>	<b>570</b>
<b>6</b>	<b>Integrierte MOS-Schaltungen . . . . .</b>	<b>570</b>
6.1	NMOS- und PMOS-Technik . . . . .	571
6.2	CMOS . . . . .	571
6.2.1	14000-Serie . . . . .	571
6.2.2	CMOS-Schalter . . . . .	573
6.2.3	High-Speed-CMOS . . . . .	574
6.2.4	BICMOS . . . . .	574
<b>7</b>	<b>Interfaceschaltungen . . . . .</b>	<b>575</b>
<b>8</b>	<b>Anwendungsspezifische integrierte Schaltungen . . . . .</b>	<b>575</b>
8.1	Allgemeines . . . . .	575
8.2	Kundenspezifische IC's . . . . .	576
8.3	Programmierbare Logikbausteine . . . . .	577
8.3.1	PROM . . . . .	577
8.3.2	PAL . . . . .	577
8.3.3	GAL . . . . .	581
8.3.4	pLSI, ispLSI . . . . .	584
<b>9</b>	<b>Gehäuse . . . . .</b>	<b>587</b>
<b>III</b>	<b>Mikrocomputertechnik . . . . .</b>	<b>588</b>
<b>1</b>	<b>Komponenten eines Mikrocomputers . . . . .</b>	<b>588</b>
<b>2</b>	<b>Mikroprozessoren . . . . .</b>	<b>588</b>
2.1	Allgemeines . . . . .	588
2.2	Architektur . . . . .	588
2.3	Übersicht gängiger Mikroprozessoren . . . . .	590
2.4	8-Bit-Mikroprozessoren . . . . .	590
2.4.1	8085-CPU . . . . .	590
2.4.2	Beispiel Z80 CPU . . . . .	598
2.5	16-Bit-Prozessorén . . . . .	601
2.5.1	8086/80286 . . . . .	601
2.5.2	Adressenbildung . . . . .	603
<b>3</b>	<b>Halbleiterspeicher . . . . .</b>	<b>604</b>
3.1	Allgemeines . . . . .	604
3.2	Kenndaten und Technologie . . . . .	604
3.3	Bedeutung der Anschlüsse . . . . .	605
3.4	Organisation und Aufbau . . . . .	605
3.4.1	Bitorganisierter und wortorganisierter Speicher . . . . .	606
3.4.2	Speicher mit Adressenzwischenspeicher . . . . .	606
3.5	Zeitverhalten . . . . .	607
3.6	Speichertypen . . . . .	608
3.6.1	Festwertspeicher . . . . .	608
3.6.1.1	Masken-ROM . . . . .	609
3.6.1.2	PROM . . . . .	609
3.6.1.3	EPROM . . . . .	609
3.6.1.4	EEPROM . . . . .	611
3.6.1.5	Flash-EPROM . . . . .	612
3.6.2	Schreib-Lesespeicher . . . . .	613
3.6.2.1	SRAM . . . . .	613
3.6.2.2	NVRAM . . . . .	614
3.6.2.3	DRAM . . . . .	615
3.6.2.4	PSRAM . . . . .	616
3.7	Speichererweiterung . . . . .	616
3.8	Zentralspeicher . . . . .	617

<b>4 Peripheriebausteine . . . . .</b>	618
4.1 Allgemeines . . . . .	618
4.2 BUS-Treiber . . . . .	618
4.3 Einfache E-/A-Bausteine für den parallelen Betrieb . . . . .	618
4.4 Programmierbare Schnittstellen- bausteine . . . . .	620
4.5 Zeitgeberbausteine . . . . .	625
4.6 Programmierbarer E/A-Baustein mit Speicher und Zeitgeber . . . . .	627
4.7 Eingabe-Ausgabe-Bausteine für den seriellen Betrieb . . . . .	629
4.7.1 Allgemeines . . . . .	629
4.7.2 USART . . . . .	632
4.8 Bausteine mit Sonderfunktionen . . . . .	635
<b>5 Mikrocontroller . . . . .</b>	636
5.1 Allgemeines . . . . .	636
5.2 8-Bit-Mikrocontroller . . . . .	637
5.2.1 Funktionsbeschreibung des MC 8051 . . . . .	637
5.2.2 Ein-/Ausgabeeinheit . . . . .	640
5.2.3 RESET-Schaltung . . . . .	640
5.2.4 Taktgenerator . . . . .	640
5.2.5 Stromaufnahme . . . . .	640
5.2.6 TIMER . . . . .	641
5.2.7 Unterbrechungssystem . . . . .	642
5.2.8 Speicher . . . . .	643
5.2.9 Serielle Schnittstelle . . . . .	644
5.3 16-Bit-Mikrocontroller . . . . .	645
<b>6 Maschinensprache . . . . .</b>	647
6.1 Allgemeines . . . . .	647
6.2 Maschinencode . . . . .	647
6.3 Befehlsaufbau . . . . .	648
6.4 Befehlsdarstellung . . . . .	648
6.5 Befehle . . . . .	648
6.5.1 Befehlsfunktionen . . . . .	648
6.5.2 Adressierungsarten . . . . .	652
6.6 Befehlszyklus und Befehlszeiten . . . . .	653
6.6.1 Befehlszyklus . . . . .	653
6.6.2 Befehlszeiten . . . . .	655
<b>7 Befehlsvorrat . . . . .</b>	655
<b>8 Hinweise zur Programmierung und Progammbeispiele . . . . .</b>	658
<b>IV Computertechnik . . . . .</b>	659
<b>1 Komponenten eines Computers . . . . .</b>	659
<b>2 Massenspeicher . . . . .</b>	659
2.1 Magnetplatten . . . . .	659
2.1.1 Diskette und Diskettenlaufwerk . . . . .	659
2.1.2 Festplatte und Festplattenlaufwerk . . . . .	663
2.1.3 Magnetbandgeräte . . . . .	664
2.2 CD-ROM- und CD-Laufwerk . . . . .	664
<b>3 Eingabegeräte . . . . .</b>	665
3.1 Tastatur . . . . .	665
3.2 Maus . . . . .	666
<b>4 Ausgabegeräte . . . . .</b>	666
4.1 Datensichtgeräte . . . . .	666
4.1.1 Monitor . . . . .	666
4.1.2 LCD-Bildschirm . . . . .	669
4.2 Drucker . . . . .	669
4.2.1 Typenraddrucker . . . . .	669
4.2.2 Matrixdrucker . . . . .	669
4.2.3 Tintenstrahldrucker . . . . .	669
4.2.4 Laserdrucker . . . . .	669
<b>V Programmietechnik . . . . .</b>	670
<b>1 Programmiersprachen . . . . .</b>	670
1.1 Assembler . . . . .	670
1.2 ADA . . . . .	670

1.3	ALGOL . . . . .	671
1.4	BASIC . . . . .	671
1.5	C . . . . .	671
1.6	FORTRAN . . . . .	671
1.7	PASCAL . . . . .	671
1.8	PL/M . . . . .	671
<b>2</b>	<b>Grundlagen der Programmierung . . . . .</b>	<b>672</b>
2.1	Interpreter . . . . .	672
2.2	Compiler . . . . .	672
2.3	Editor . . . . .	672
2.4	Integrierte Entwicklungsumgebung . . . . .	672
2.5	Methoden der Programmierung . . . . .	673
2.6	Problembeschreibung . . . . .	673
2.7	Top-Down-Methode . . . . .	673
2.8	Bottom-Up-Methode . . . . .	673
2.9	Bewertung der Methoden . . . . .	673
2.10	Programm-Test . . . . .	674
<b>VI</b>	<b>Datenkommunikation . . . . .</b>	<b>674</b>
<b>1</b>	<b>Einführung . . . . .</b>	<b>674</b>
<b>2</b>	<b>Grundlagen . . . . .</b>	<b>675</b>
2.1	Verkehrsarten . . . . .	675
2.2	Vermittlungsprinzipien . . . . .	676
2.3	Vermittlungseinrichtungen . . . . .	676
2.4	Klassifizierung von Netzen . . . . .	677
2.5	Standardisierung . . . . .	677
2.5.1	Standardisierungsgremien . . . . .	678
<b>3</b>	<b>Lokale Netze . . . . .</b>	<b>680</b>
3.1	Ethernet (CSMA/CD) . . . . .	680
3.2	Token-Ring . . . . .	682
3.3	ISDN . . . . .	684
3.4	Breitband-ISDN (ATM-Technik) . . . . .	685
	Literatur . . . . .	688

## Automatisierungstechnik

<b>I</b>	<b>Steuerungstechnik . . . . .</b>	<b>689</b>
<b>1</b>	<b>Aufbau einer Steuerung . . . . .</b>	<b>689</b>
1.1	Steuerungarten . . . . .	689
1.2	Verbindungsprogrammierte Steuerungen (VPS) . . . . .	689
1.3	Speicherprogrammierte Steuerungen (SPS) . . . . .	689
<b>2</b>	<b>Aufbau einer speicher-programmierbaren Steuerung . . . . .</b>	<b>689</b>
2.1	Eingabeeinheit einer SPS . . . . .	689
2.2	Verarbeitungseinheit einer SPS . . . . .	689
2.3	Ausgabeeinheit einer SPS . . . . .	690
2.4	Programmspeicher . . . . .	690
2.5	Arten von Programmspeichern . . . . .	690
<b>3</b>	<b>Programmierung . . . . .</b>	<b>690</b>
3.1	Lineare Programmierung . . . . .	690
3.2	Strukturierte Programmierung . . . . .	691
<b>4</b>	<b>Begriffe aus der Informationsverarbeitung . . . . .</b>	<b>691</b>
<b>5</b>	<b>Zuverlässigkeit/Verfügbarkeit von SPS . . . . .</b>	<b>691</b>
<b>6</b>	<b>Sicherheitsbetrachtungen für SPS (DIN VDE 0113/DIN VDE 0160) . . . . .</b>	<b>692</b>
6.1	Allgemeine Sicherheitsregeln in der Steuerungstechnik . . . . .	692
6.2	Besondere Sicherheitsanforderungen an die Steuerung einer elektrischen Anlage und an die speicherprogrammierte Steuerung . . . . .	692
6.3	NOT-AÜS-Einrichtung . . . . .	692
6.4	Verhalten der elektronischen Anlage bei Erdschluß . . . . .	693
6.5	Verriegelung der elektrischen Anlage zu Schutzzwecken . . . . .	693
6.6	Schutzmaßnahmen gegen selbsttätigen Wiederanlauf von Steuerungen . . . . .	693

<b>7 Genereller Aufbau eines Bedienfeldes . . . . .</b>	693
<b>8 Programmierungsarten DIN 19239 . . . . .</b>	694
8.1 Funktionsplan . . . . .	694
8.2 Anweisungsliste (AWL) . . . . .	694
8.3 Kontaktplan (KOP) . . . . .	694
<b>9 Realisierung der logischen Grundverknüpfungen mit SPS . . . . .</b>	694
9.1 UND- Verknüpfung . . . . .	695
9.2 ODER-Verknüpfung . . . . .	695
9.3 NICHT-Verknüpfung . . . . .	695
9.4 NAND-Verknüpfung . . . . .	696
9.5 NOR-Verknüpfung . . . . .	696
<b>10 Behandlung von Schließern und Öffnern . . . . .</b>	696
10.1 Programmieren von Schließern und Öffnern . . . . .	696
10.2 Meldung von Betriebszuständen und programmtechnische Auswertung . . . . .	697
10.3 Drahtbruch- und Erdschlußerkennung . . . . .	697
<b>11 Komplexe Verknüpfungen . . . . .</b>	697
11.1 UND- vor ODER-Schaltung . . . . .	697
11.2 ODER- vor UND-Schaltung . . . . .	697
11.3 Merker . . . . .	698
<b>12 Speicherfunktionen . . . . .</b>	699
12.1 RS-Speicherschaltung mit dominanter Rücksetzfunktion . . . . .	699
12.2 RS-Speicherschaltung mit dominanter Setzfunktion . . . . .	700
12.3 Wischimpulse . . . . .	700
<b>13 Zeitfunktionen . . . . .</b>	701
13.1 Zeiteinstellung allgemein . . . . .	701
13.2 Impuls SI . . . . .	701
13.3 Verlängerter Impuls SV . . . . .	702
13.4 Einschaltverzögerung SE . . . . .	702
13.5 Speichernde Einschaltverzögerung SS . . . . .	702
13.6 Ausschaltverzögerung SA . . . . .	703
<b>14 Zähler . . . . .</b>	703
14.1 Zähler im Automatisierungsprozeß . . . . .	703
14.2 Erläuterungen zu den Zähleingängen . . . . .	703
14.3 Erläuterungen zu den Zählerausgängen . . . . .	704
14.4 Realisierung eines Zählers mit einer SPS . . . . .	704
<b>15 Vergleicher . . . . .</b>	704
15.1 Allgemeine Funktion von Vergleichern . . . . .	704
<b>16 Ablaufsteuerungen . . . . .</b>	705
16.1 Vorteile von Ablaufsteuerungen . . . . .	705
16.2 Unterscheidung der Arten von Steuerungen . . . . .	705
16.3 Wirkungsweise und Struktur der Schrittfolge einer Ablaufsteuerung . . . . .	705
16.4 Verzweigte Ablaufsteuerungen . . . . .	708
16.5 Umgestaltung verbindungsprogrammierter Steuerungen in speicherprogrammierte Steuerungen SPS . . . . .	708
<b>II Regelungstechnik . . . . .</b>	710
<b>1 Regelungsarten . . . . .</b>	711
1.1 Folgeregelung . . . . .	711
1.2 Zeitplanregelung . . . . .	711
1.3 Festwertregelung . . . . .	711
1.4 Kaskadenregelung . . . . .	711
1.5 Verhältnisregelung . . . . .	711
<b>2 Regelstrecken . . . . .</b>	711
2.1 Regelstrecken mit Ausgleich . . . . .	712
2.2 Regelstrecken 1. Ordnung . . . . .	712
2.3 Frequenzgang des $PT_1$ -Gliedes . . . . .	712
2.4 Regelstrecken 2. Ordnung . . . . .	713
2.5 Frequenzgang des $PT_2$ -Gliedes . . . . .	714
2.6 Regelstrecken mit Totzeiten ( $T_1$ -Glied) . . . . .	714
2.7 Regelstrecken ohne Ausgleich . . . . .	715

<b>3</b>	<b>Reglerarten</b>	715
<b>4</b>	<b>P-Regler</b>	715
4.1	Proportionalbereich des P-Reglers	716
4.2	Bode-Diagramm eines P-Reglers	716
<b>5</b>	<b>P-Regler in invertierender Schaltung mit Stromvergleichsstelle</b>	716
5.1	Beispiel zum Addierer	717
<b>6</b>	<b>I-Regler</b>	717
6.1	Bode-Diagramm des I-Reglers	718
6.2	Beispiele zum I-Regler	719
<b>7</b>	<b>PI-Regler</b>	720
7.1	Bode-Diagramm des PI-Reglers	721
7.2	Beispiel zum PI-Regler	722
<b>8</b>	<b>D-Regler oder D-Glied</b>	723
8.1	Bode-Diagramm des D-Gliedes	724
8.2	Beispiele zum D-Glied	724
<b>9</b>	<b>PD-Regler</b>	725
9.1	Bode-Diagramm des PD-Reglers	726
9.2	Beispiel zum PD-Regler	728
<b>10</b>	<b>PID-Regler</b>	728
10.1	Bode-Diagramm des PID-Reglers	729
10.2	Beispiel zum PIDT-Regler	730
<b>11</b>	<b>Zweipunktregler</b>	730
11.1	Mechanischer Zweipunktregler	730
11.2	Elektronische Zweipunktregler	730
<b>12</b>	<b>Dreipunkt-Regler</b>	730
<b>13</b>	<b>Auswahl von Reglern für vorgegebene Strecken</b>	731
<b>14</b>	<b>Optimale Einstellung eines Reglers nach Ziegler/Nichols</b>	732
<b>15</b>	<b>Optimale Einstellung eines Reglers aus den dynamischen Kenngrößen der Regelstrecke</b>	732
<b>16</b>	<b>Einstellgrößen von Reglern</b>	733
<b>17</b>	<b>Kombination von Steuern und Regeln</b>	733
17.1	Störgrößenaufschaltung	733
<b>18</b>	<b>Momentaufnahme der modernen Regelungstechnik</b>	733
18.1	Digitale Regelungstechnik	733
18.2	Prozeßregelung	733

## Meßtechnik

<b>I</b>	<b>Grundlagen und Grundbegriffe der Meßtechnik</b>	735
<b>1</b>	<b>Begriffe</b>	735
<b>2</b>	<b>Einheiten</b>	735
<b>3</b>	<b>Meßabweichung, Meßfehler</b>	736
3.1	Systematische Abweichungen	736
3.2	Zufällige Abweichungen	736
3.3	Arithmetischer Mittelwert, Erwartungswert	737
3.4	Standardabweichung	737
<b>4</b>	<b>Abweichungsfortpflanzung, Fehlerfortpflanzung</b>	738
<b>5</b>	<b>Fehlerangaben von Meßgeräten</b>	739
5.1	Analog anzeigende Meßgeräte	739
5.2	Digital anzeigende Meßgeräte	739
<b>6</b>	<b>Arithmetischer Mittelwert und Effektivwert von Wechselgrößen</b>	739
<b>7</b>	<b>Häufigkeitsverteilung, Vertrauensbereich</b>	739
<b>8</b>	<b>Bearbeitung und Auswertung von Meßwerten</b>	740

<b>II</b>	<b>Analog anzeigende Meßgeräte</b>	741
1	Grundlagen	741
2	Drehspul-Meßwerk	741
3	Dreheisen-Meßwerk	742
4	Elektrodynamisches Meßwerk	743
5	Symbole und Instrumentenbeschriftungen	744
<b>III</b>	<b>Oszilloskop</b>	744
1	Aufbau eines Standard-Oszilloskopes	744
1.1	Oszilloskopröhre	744
1.2	Y-Ablenkung	745
1.3	X-Ablenkung	746
1.4	Netzteil	746
2	Oszilloskope mit speziellen Eigenschaften	747
2.1	Zwei- oder Mehrkanal-Oszilloskope	747
2.2	Speicheroszilloskope	747
2.3	Oszilloskope mit Differenzverstärker-Eingang	748
2.4	Sampling-Oszilloskope	748
2.5	Zusatzeinrichtungen bei Oszilloskopen	748
<b>IV</b>	<b>Schreibende Meßgeräte</b>	750
1	Y-t-Schreiber	750
2	X-Y-Schreiber	751
3	Auslenkung des Schreibstiftes	751
<b>V</b>	<b>Digital anzeigende Meßgeräte</b>	751
1	Digitalvoltmeter	751
2	Digitalmultimeter	752
3	Messung von Kapazitäten, Frequenzen und Stromverstärkungen	753
4	Messung von Temperaturen	753
<b>VI</b>	<b>Meßverfahren zur Messung elektrischer Größen</b>	754
1	Messung von Gleichspannungen	754
1.1	Analog anzeigende Spannungsmessergeräte	754
1.2	Digital anzeigende Spannungsmessergeräte	754
1.3	Meßabweichung durch den Innenwiderstand des Spannungsmessers	754
1.4	Spannungsmessung mit dem Kompensator	755
2	Messung von Gleichströmen	755
2.1	Analog anzeigende Strommeßgeräte	755
2.2	Digital anzeigende Strommeßgeräte	755
2.3	Meßabweichung durch den Innenwiderstand des Strommessers	756
3	Meßbereichserweiterung	756
3.1	Spannungsmessung	756
3.2	Strommessung	756
4	Messung von Wechselspannungen	756
4.1	Analog anzeigende Wechselspannungsmessergeräte	756
4.1.1	Spannungsmesser mit Dreheisenmeßwerk	756
4.1.2	Spannungsmesser mit Drehspulmeßwerk	757
4.1.3	Spannungsmesser mit Thermoumformermeßwerk	757
4.2	Digital anzeigende Wechselspannungsmessergeräte	757
5	Messung von Wechselströmen	758
5.1	Analog anzeigende Wechselstrommeßgeräte	758
5.2	Digital anzeigende Wechselstrommeßgeräte	758
6	Widerstands- und Impedanzmessung	758
6.1	Gleichstrom-Meßbrücken zur Widerstandsmessung	758
6.1.1	Grundlagen	758
6.1.2	Wheatstone-Meßbrücke im Abgleichverfahren	759

6.1.3	Thomson-Meßbrücke im Abgleichverfahren . . . . .	759
6.1.4	Wheatstone-Meßbrücke im Ausschlagverfahren . . . . .	760
6.1.5	Wheatstone-Meßbrücke im Ausschlagverfahren mit Widerstand in der Brücken-diagonalen . . . . .	761
6.2	Wechselstrom-Meßbrücken zur Widerstands- und Impedanzmessung . . . . .	761
6.2.1	Messung von ohmschen Widerständen . . . . .	761
6.2.2	Messung von Impedanzen . . . . .	762
6.3	Vergleich mit bekanntem Widerstand – Spannungsvergleich . . . . .	762
6.4	Messung von Strom und Spannung . . . . .	763
6.5	Widerstandsmessung mit analogen Multimetern . . . . .	763
<b>7</b>	<b>Leistungsmessung</b> . . . . .	764
7.1	Wirkleistungsmessung . . . . .	764
7.1.1	Wirkleistungsmessung bei Wechselstrom . . . . .	764
7.1.2	Wirkleistungsmessung in Drehstromsystemen . . . . .	765
7.1.3	Symmetrisch belastetes Drehstromsystem . . . . .	765
7.1.4	Beliebig belastetes Dreileiter-Drehstromsystem . . . . .	765
7.1.5	Beliebig belastetes Vierleiter-Drehstromsystem . . . . .	766
7.2	Blindleistungsmessung . . . . .	767
7.2.1	Blindleistungsmessung bei Wechselstrom . . . . .	767
7.2.2	Blindleistungsmessung in symmetrisch belasteten Dreileiter-Drehstromsystemen . . . . .	767
7.2.3	Blindleistungsmessung in beliebig belasteten Vierleiter-Drehstromsystemen . . . . .	767
7.3	Scheinleistungsmessung . . . . .	768
7.4	Meßbereichserweiterung bei der Leistungsmessung . . . . .	768
7.5	Leistungsfaktormessung . . . . .	768
<b>8</b>	<b>Messung der Arbeit</b> . . . . .	768
<b>9</b>	<b>Messung von <math>L</math>, <math>C</math>, Gütefaktor und Verlustfaktor</b> . . . . .	769
9.1	Messung von $ Z_L $ oder $ Z_C $ . . . . .	770
9.2	Messung von $Z_L$ , $Z_C$ , Gütefaktor und Verlustfaktor . . . . .	770
<b>10</b>	<b>Messung magnetischer Größen</b> . . . . .	771
10.1	Magnetischer Fluß . . . . .	771
10.2	Magnetische Flußdichte . . . . .	772
10.3	Magnetische Feldstärke . . . . .	772
10.4	Permeabilität . . . . .	772
<b>VII</b>	<b>Meßverfahren zur Messung nichtelektrischer Größen</b> . . . . .	773
<b>1</b>	<b>Meßaufnehmer</b> . . . . .	774
1.1	Ohmsche Aufnehmer . . . . .	775
1.2	Kapazitive Aufnehmer . . . . .	775
1.3	Induktive Aufnehmer . . . . .	776
1.4	Optische Aufnehmer . . . . .	777
1.4.1	Fotodiode . . . . .	777
1.4.2	Fotovervielfacher . . . . .	777
1.5	Ladungsliefernde Aufnehmer . . . . .	778
1.6	Thermische Aufnehmer . . . . .	779
1.6.1	Thermoelemente . . . . .	779
1.7	Chemische Aufnehmer . . . . .	780
1.7.1	pH-Wert-Meßeinrichtung mit Glaselektrode . . . . .	780
1.7.2	Aufnehmer zur Messung der Sauerstoffkonzentration . . . . .	781
1.8	Aufnehmer zur Messung von Gaskonzentrationen allgemein . . . . .	781
<b>2</b>	<b>Meßverfahren</b> . . . . .	782
2.1	Kraftmessung mit Dehnungsmeßstreifen (DMS) . . . . .	783
2.2	Füllstandsmessung und Messung der Foliendicke . . . . .	786
2.3	Drehzahlmessung . . . . .	786
2.4	Durchflußmessung . . . . .	787
2.5	Zeit- und Frequenzmessung . . . . .	789
2.6	Weg- und Winkelmessung . . . . .	790
2.7	Beschleunigungsmessung . . . . .	791
<b>VIII</b>	<b>Meßdatenaufbereitung</b> . . . . .	794
<b>1</b>	<b>Verringerung der Störeinflüsse von außen</b> . . . . .	794
<b>2</b>	<b>Meßverstärker</b> . . . . .	795

<b>IX</b>	<b>Bussysteme für die Meßtechnik . . . . .</b>	797
1	Grundbegriffe . . . . .	797
2	IEC-Bus . . . . .	798
3	DIN-Meßbus . . . . .	800
4	Aktuator-Sensor-Interface (ASI) . . . . .	800
<b>X</b>	<b>Probleme bei der Digitalisierung analoger Meßwerte . . . . .</b>	802
1	Fehler bei der Digitalisierung . . . . .	802
2	Signal-Quantisierungs-Geräuschabstand . . . . .	803
3	Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses . . . . .	804
4	Abtast-Halte-Glied . . . . .	804
5	Aliasing . . . . .	804
6	Erfassung von Momentanwerten . . . . .	804
<b>XI</b>	<b>PC-gestützte Meßverfahren und Meßsignalanalyse . . . . .</b>	805
1	Statistische Verfahren zur Meßsignalauswertung . . . . .	805
2	Graphische Darstellung . . . . .	805
3	Ermittlung von Kenngrößen, Klassierung . . . . .	806
4	Meßsignalanalyse . . . . .	806
4.1	Verfahren . . . . .	807
4.2	Anwendungen . . . . .	807
4.2.1	Messung des Klirrfaktors . . . . .	807
4.2.2	Geräuschmessung zur Schadenfrüherkennung . . . . .	807
4.2.3	Abstandsmessung . . . . .	807
4.2.4	Erkennung periodischer Signalanteile . . . . .	807
5	Automatisierung von Meßabläufen . . . . .	807
<b>Literaturverzeichnis . . . . .</b>		808
Literatur allgemein: . . . . .		808
Spezielle Literatur: . . . . .		808

## Energietechnik

<b>I</b>	<b>Elektrische Maschinen . . . . .</b>	809
1	<b>Transformatoren . . . . .</b>	809
1.1	Aufgaben eines Transformators . . . . .	809
1.2	Bauteile eines Transformators . . . . .	809
1.2.1	Eisenkerne . . . . .	809
1.2.2	Wicklungen . . . . .	809
1.2.3	Kühlung . . . . .	810
1.3	Wirkungsweise eines Einphasen-Transformators . . . . .	810
1.3.1	Leerlauf . . . . .	810
1.3.2	Belastung . . . . .	811
1.3.3	Leerlaufversuch . . . . .	812
1.3.4	Kurzschlußversuch . . . . .	813
1.3.5	Wirkungsgrad . . . . .	814
1.4	Aufbau und Schaltung von Drehstrom-Transformatoren . . . . .	815
1.4.1	Wirkungsweise . . . . .	815
1.4.2	Schaltgruppen . . . . .	816
1.4.3	Unsymmetrische Belastungen . . . . .	816
1.5	Parallelschalten von Transformatoren . . . . .	816
1.6	Transformatorsschutz . . . . .	817
1.7	Überlastung von Transformatoren . . . . .	817
1.8	Aufstellen von Transformatoren . . . . .	817
1.9	Sondertransformatoren . . . . .	818
1.9.1	Spartransformatoren . . . . .	818
1.9.2	Drosselpulen . . . . .	818
1.9.3	Streufeldtransformatoren . . . . .	819

1.10	Meßwandler . . . . .	819
1.10.1	Spannungswandler . . . . .	819
1.10.2	Stromwandler . . . . .	820
<b>2</b>	<b>Drehstrommaschinen . . . . .</b>	<b>820</b>
2.1	Die Drehstromasynchronmaschine . . . . .	821
2.1.1	Wirkungsweise der Asynchronmaschine . . . . .	821
2.1.2	Betriebsverhalten der Asynchronmaschine . . . . .	821
2.1.2.1	Spannungsgleichung, Ersatzschaltbild . . . . .	822
2.1.2.2	Leistungsfluß . . . . .	822
2.1.2.3	Betriebskennlinien . . . . .	823
2.1.3	Kurzschlußläufer . . . . .	823
2.1.3.1	Anlaßverfahren . . . . .	824
2.1.3.2	Bremsverfahren . . . . .	825
2.1.3.3	Drehzahlsteuerung . . . . .	826
2.1.3.4	Ständerspannungsänderung . . . . .	826
2.1.3.5	Frequenzänderung . . . . .	826
2.1.3.6	Polumschaltung . . . . .	828
2.1.4	Der Schleifringläufer . . . . .	828
2.1.4.1	Anlaßverfahren . . . . .	828
2.1.4.2	Bremsverfahren . . . . .	829
2.1.4.3	Drehzahlsteuerung . . . . .	829
2.2	Linearmotor . . . . .	830
2.2.1	Aufbau des Linearmotors . . . . .	830
2.3	Drehstromsynchrongmaschinen . . . . .	830
2.3.1	Wirkungsweise der Synchronmaschine . . . . .	831
2.3.2	Spannungsgleichung der Synchronmaschine . . . . .	832
2.3.3	Anlauf und Synchronisation . . . . .	832
<b>3</b>	<b>Einphasen-Asynchronmotoren . . . . .</b>	<b>833</b>
3.1	Einsträngiger Motor . . . . .	833
3.2	Zweisträngiger Motor . . . . .	833
3.3	Kondensatormotor . . . . .	833
3.4	Spaltpolmotor . . . . .	834
<b>4</b>	<b>Drehstrommotor im Einphasenbetrieb . . . . .</b>	<b>834</b>
<b>5</b>	<b>Sonderbauformen . . . . .</b>	<b>835</b>
5.1	Schrittmotor . . . . .	835
5.2	Servomotor . . . . .	835
5.2.1	Scheibenläufermotor . . . . .	836
5.2.2	Stabankermotoren . . . . .	836
<b>6</b>	<b>Gleichstrommaschinen . . . . .</b>	<b>836</b>
6.1	Aufbau und Wirkungsweise . . . . .	837
6.1.1	Ankerrückwirkungen . . . . .	837
6.2	Betriebsverhalten von Gleichstrommaschinen . . . . .	838
6.2.1	Nebenschlußmotor . . . . .	838
6.2.2	Reihenschlußmotor . . . . .	840
6.2.3	Doppelschlußmotor . . . . .	842
6.3	Betriebsverhalten von Gleichstromgeneratoren . . . . .	842
6.3.1	Fremderregter Generator . . . . .	843
6.3.2	Nebenschlußgenerator . . . . .	843
6.3.3	Reihenschlußgenerator . . . . .	843
6.3.4	Doppelschlußgenerator . . . . .	844
6.4	Gleichstrommaschine am Wechsel- oder Drehstromnetz . . . . .	844
6.4.1	Wechselstrombrücken . . . . .	844
6.4.1.1	Einquadrantenantrieb (1-Q-Betrieb) . . . . .	844
6.4.1.2	Zweiquadrantenantrieb (2-Q-Betrieb) . . . . .	845
6.4.1.3	Vierquadrantenantrieb (4-Q-Betrieb) . . . . .	845
6.4.2	Drehstrombrücken . . . . .	846
6.4.2.1	Zweiquadrantenbetrieb (2-Q-Betrieb) . . . . .	846
6.4.2.2	Vierquadrantenbetrieb (4-Q-Betrieb) . . . . .	846
6.5	Universalmotor . . . . .	846
<b>7</b>	<b>Auswahl von Motoren . . . . .</b>	<b>847</b>
7.1	Auswahl unter Berücksichtigung der Normen . . . . .	847
7.1.1	Bauform und Baugrößen . . . . .	847
7.1.2	Schutzart . . . . .	847
7.1.3	Kühlart . . . . .	850

7.1.4	Isolierstoffklassen . . . . .	850
7.1.5	Motorschutz . . . . .	850
7.1.5.1	Thermischer Auslöser . . . . .	851
7.1.5.2	Thermistor-Motorvollschatz . . . . .	852
7.1.6	Abstimmung des Motors auf die Arbeitsmaschine . . . . .	852
7.1.7	Wartung von Maschinen . . . . .	853
7.1.8	Störungsbeseitigung . . . . .	854
	Anschlußkennzeichnungen von Maschinen . . . . .	856
<b>II</b>	<b>Elektrische Anlagen . . . . .</b>	<b>857</b>
<b>1</b>	<b>Struktur der Elektrizitätswirtschaft . . . . .</b>	<b>857</b>
<b>2</b>	<b>Elektrische Energieerzeugung . . . . .</b>	<b>857</b>
2.1	Energiebedarf . . . . .	858
2.2	Energiereserven . . . . .	859
2.3	Wärmekraftwerke . . . . .	859
2.3.1	Konventionelle Dampfkraftwerke . . . . .	860
2.3.2	Kombikraftwerke . . . . .	860
2.3.3	Kernkraftwerke . . . . .	860
2.3.3.1	Druckwasserreaktor . . . . .	861
2.3.3.2	Siedewasserreaktor . . . . .	861
2.3.3.3	Hochtemperaturreaktor . . . . .	861
2.3.4	Umweltschutz . . . . .	862
2.4	Wasserkraftwerke . . . . .	863
2.5	Windkraftwerke . . . . .	864
2.6	Solarkraftwerke . . . . .	864
2.6.1	Sonnenwärmekraftwerke . . . . .	864
2.6.2	Photovoltaische Kraftwerke . . . . .	865
2.6.3	Solar-Wasserstoff-Anlage . . . . .	865
2.7	Sonstige Kraftwerke . . . . .	865
2.7.1	Biomasse . . . . .	865
2.7.2	Brennstoffzellen . . . . .	865
2.7.3	Fusionsreaktor . . . . .	866
<b>3</b>	<b>Elektrische Energieverteilung . . . . .</b>	<b>866</b>
3.1.1	Gleichstromnetz . . . . .	867
3.1.2	Wechselstromnetz . . . . .	867
3.1.3	Drehstromnetz . . . . .	867
3.2	Netzstrukturen . . . . .	868
3.2.1	Strahlennetz . . . . .	868
3.2.2	Ringnetz . . . . .	869
3.2.3	Maschennetz . . . . .	869
3.2.4	Verbundnetz . . . . .	869
<b>4</b>	<b>Betriebsmittel der Energietechnik . . . . .</b>	<b>870</b>
4.1	Bemessung und Auswahl . . . . .	870
4.2	Kabel, Leitungen und Schienen . . . . .	870
4.2.1	Freileitungen . . . . .	870
4.2.2	Kabel . . . . .	871
4.2.2.1	Leiterwerkstoffe . . . . .	871
4.2.2.2	Leiterisolierung . . . . .	872
4.2.2.3	Aufbau . . . . .	872
4.2.2.4	Erwärmung . . . . .	872
4.2.2.5	Verlegung . . . . .	874
4.2.2.6	Verlegung in Erde . . . . .	874
4.2.2.7	Verlegung in Luft . . . . .	874
4.2.2.8	Überstromschutz . . . . .	878
4.2.3	Leitungen . . . . .	880
4.2.3.1	Spannungsfall auf Kabeln und Leitungen . . . . .	883
4.2.3.2	Verlegung von Kabeln und Leitungen . . . . .	884
4.2.3.3	Ersatzschaltung von Kabeln und Leitungen . . . . .	884
4.2.4	Sammelschienen . . . . .	884
4.2.4.1	Längenausdehnung von Stromschienen . . . . .	886
4.2.4.2	Kurzschlußfestigkeit . . . . .	887
4.2.4.3	Mechanische Kurzschlußfestigkeit . . . . .	887
4.2.4.4	Thermische Kurzschlußfestigkeit . . . . .	888
4.3	Schaltanlagen . . . . .	888
4.3.1	Hochspannungsschaltanlagen . . . . .	889
4.3.2	Mittelspannungsanlagen . . . . .	889
4.3.2.1	Bauart von Mittelspannungsschaltanlagen . . . . .	889

4.3.2.2	Störlichtbogenfestigkeit . . . . .	890
4.3.2.3	Schaltgeräte . . . . .	891
4.3.2.4	Schutzgeräte . . . . .	894
4.3.3	Anlagenräume . . . . .	894
4.3.4	Niederspannungsschaltanlagen . . . . .	895
4.3.4.1	Niederspannungs-Schaltgerätekombinationen . . . . .	896
<b>5</b>	<b>Schutzmaßnahmen</b> . . . . .	<b>898</b>
5.1	Wirkung des Stroms . . . . .	899
5.2	Schutz gegen direktes Berühren . . . . .	899
5.3	Schutz gegen indirektes Berühren . . . . .	899
5.3.1	Schutzisolierung . . . . .	900
5.3.2	Schutztrennung . . . . .	900
5.3.3	Schutz durch nichtleitende Räume . . . . .	901
5.3.4	Schutzkleinspannung . . . . .	901
5.3.5	Funktionskleinspannung . . . . .	902
5.3.6	Schutz durch Abschalten und Melden . . . . .	902
5.3.6.1	Überstromschutzeinrichtung . . . . .	903
5.3.6.2	Fl-Schutzeinrichtung . . . . .	904
5.3.6.3	Isolationsüberwachung . . . . .	904
5.3.6.4	Zusätzlicher Potentialausgleich . . . . .	904
<b>6</b>	<b>Arbeiten an elektrischen Anlagen</b> . . . . .	<b>905</b>
<b>7</b>	<b>Überprüfung der Schutzmaßnahme</b> . . . . .	<b>906</b>
<b>8</b>	<b>Kurzschlußberechnung (VDE 0102)</b> . . . . .	<b>907</b>
<b>III</b>	<b>Elektrische Energieanwendung</b> . . . . .	<b>909</b>
<b>1</b>	<b>Kompensationsanlagen</b> . . . . .	<b>909</b>
<b>2</b>	<b>Beleuchtungsanlagen</b> . . . . .	<b>911</b>
2.1	Grundgrößen der Lichttechnik . . . . .	911
2.2	Lichtquellen . . . . .	912
2.3	Glühlampen . . . . .	913
2.4	Leuchtstofflampen . . . . .	913
2.5	Entladungslampen . . . . .	913
2.6	Leuchten . . . . .	913
2.7	Berechnung von Beleuchtungsanlagen . . . . .	914

## Nachrichtentechnik

<b>I</b>	<b>Grundlagen der Nachrichtenübertragung</b> . . . . .	<b>917</b>
<b>1</b>	<b>Prinzip der elektrischen Nachrichtenübertragung</b> . . . . .	<b>917</b>
<b>2</b>	<b>Aufgaben der Nachrichtentechnik</b> . . . . .	<b>919</b>
<b>3</b>	<b>Grundbegriffe</b> . . . . .	<b>919</b>
<b>4</b>	<b>Nachricht, Information und Signal</b> . . . . .	<b>919</b>
4.1	Informationsgehalt . . . . .	919
4.2	Signale in der Nachrichtentechnik . . . . .	919
4.3	Entropie . . . . .	920
4.4	Redundanz . . . . .	920
4.5	Informationsfluß . . . . .	921
4.6	Kanalkapazität, Dynamik . . . . .	921
4.7	Nachrichtenquader . . . . .	921
4.8	Signale im Zeitbereich: Analog, digital, kontinuierlich, diskret . . . . .	922
4.9	Signale im Frequenzbereich . . . . .	922
4.9.1	Periodische sinusförmige Signale . . . . .	923
4.9.2	Periodische nichtsinusförmige Signale . . . . .	923
4.9.3	Nichtperiodische Signale . . . . .	923
4.10	Abtasttheorem von Shannon . . . . .	926
4.11	Zufällige (stochastische) Signale . . . . .	927
4.11.1	Rauschen . . . . .	927
4.11.2	Kenngrößen von stochastischen Signalen . . . . .	928
4.11.3	Anwendungen der Kenngrößen von stochastischen Signalen . . . . .	929
4.12	Verzerrungen . . . . .	929
4.12.1	Lineare Verzerrungen . . . . .	930
4.12.2	Nichtlineare Verzerrungen . . . . .	930
4.12.3	Klirrfaktor . . . . .	931

<b>5 Kenngrößen der Übertragungsstrecke</b>	931
5.1 Dämpfungsfaktor . . . . .	931
5.2 Übertragungsfaktor . . . . .	931
5.3 Dämpfungsmaß . . . . .	932
5.4 Übertragungsmaß, Verstärkungsmaß . . . . .	932
5.5 Pegel . . . . .	932
5.5.1 Absoluter Pegel . . . . .	932
5.5.2 Relativer Pegel . . . . .	932
5.5.3 Dämpfungsmaß, Übertragungsmaß . . . . .	933
5.5.4 Pegeldiagramm . . . . .	933
<b>II Vierpole, Zweitore</b>	934
<b>1 Vierpol allgemein</b>	934
1.1 Grundlagen . . . . .	934
1.2 Vierpolgleichungen, Zusammenschaltung von Vierpolen . . . . .	934
1.3 Bestimmung der Vierpolparameter . . . . .	936
1.4 Elementarvierpole . . . . .	937
1.5 Betriebskenngrößen . . . . .	937
<b>2 Spezielle Vierpole</b>	945
2.1 Übertragungssymmetrische (reziproke) Vierpole . . . . .	945
2.2 Widerstandssymmetrische Vierpole . . . . .	946
2.3 Längssymmetrische Vierpole . . . . .	946
2.4 Rückwirkungsfreie Vierpole . . . . .	946
<b>3 Wellenparameter passiver Vierpole</b>	946
3.1 Allgemeine passive Vierpole . . . . .	946
3.2 Längssymmetrische passive Vierpole . . . . .	947
3.3 Wellenwiderstand bei passiven längssymmetrischen Vierpolen . . . . .	947
3.4 Übertragungsmaß bei passiven längssymmetrischen Vierpolen . . . . .	948
3.5 Spezielle Vierpole . . . . .	948
3.5.1 Doppel-T-Filter . . . . .	948
3.5.2 Kreuzschaltung . . . . .	949
3.5.3 Frequenzkompensierter Spannungsteiler . . . . .	949
<b>III Leitungen</b>	950
<b>1 Leitungsbeläge und Leitungsgleichungen</b>	950
<b>2 Leitung mit sinusförmigen Spannungen und Strömen</b>	952
2.1 Allgemeine Lösung . . . . .	952
2.2 Wellenwiderstand . . . . .	952
2.3 Ausbreitungskoeffizient . . . . .	953
2.4 Verlustlose Leitung . . . . .	953
2.5 Lösung mit Zeigerdarstellung . . . . .	953
2.6 Unendlich lange Leitung . . . . .	954
2.7 Anpassung . . . . .	954
2.8 Phasengeschwindigkeit, Gruppengeschwindigkeit . . . . .	954
<b>3 Leitung mit sinusförmigen Spannungen und Strömen und beliebiger Abschlußimpedanz <math>Z_e</math></b>	954
3.1 Reflexionsfaktor, Übertragungsfaktor . . . . .	954
3.2 Eingangsimpedanz . . . . .	955
3.3 Verzerrungsfreie Leitung . . . . .	956
3.4 Leitung als Vierpol . . . . .	956
3.4.1 Allgemeine Ersatzschaltung . . . . .	956
3.4.2 Elektrisch kurze Leitung . . . . .	957
<b>4 Verlustlose Leitung</b>	957
4.1 Eigenschaften . . . . .	957
4.2 Wanderwellen bei Reflexion am Leitungsein- und -ausgang . . . . .	957
4.3 Elektrisch lange Leitung . . . . .	958
4.4 Leitung als Transformator . . . . .	959
4.5 Stehende Wellen . . . . .	959
4.6 Kettenleiter . . . . .	959
4.7 Wellenfilter . . . . .	960
<b>5 Daten von Leitungen</b>	961

<b>6</b>	<b>Hochfrequenzleitungen</b>	961
6.1	Hochfrequenz-Koaxialkabel	961
6.2	Hohlleiter	963
6.3	Streifenleitungen	966
<b>7</b>	<b>s-Parameter</b>	970
7.1	Signalflußdiagramme	970
7.2	Leistungsverstärkung	972
<b>8</b>	<b>Kreisdiagramm</b>	972
8.1	Doppel-Kreisdiagramm	975
8.2	s-Parameter im Kreisdiagramm	976
<b>IV</b>	<b>Antennen</b>	978
<b>1</b>	<b>Grundlagen</b>	978
<b>2</b>	<b>Kenngrößen</b>	980
<b>3</b>	<b>Ausführungsformen von Antennen</b>	982
3.1	Vertikalantenne	982
3.2	Rahmenantenne	982
3.3	Ferritantenne	982
3.4	//2-Dipol, //2-Faltdipol	983
3.5	Breitbanddipol	983
3.6	Gruppenstrahler	983
3.7	Yagi-Antenne	983
3.8	Langdrahtantenne	984
3.9	Rohrschlitzstrahler	984
3.10	Parabolantenne	984
<b>4</b>	<b>Wellenausbreitung</b>	984
4.1	Boden- und Raumwelle	984
4.2	Erdatmosphäre	985
4.3	Wellenausbreitung im Plasma	985
4.4	Wellenausbreitung im Bereich 30 kHz bis 30 GHz	986
<b>V</b>	<b>Modulation</b>	988
<b>1</b>	<b>Übersicht</b>	988
<b>2</b>	<b>Sinusträger – mit Analogsignal moduliert</b>	988
2.1	Amplitudenmodulation (AM)	989
2.1.1	Modulation durch Multiplikation	989
2.1.2	Kenngrößen der Amplitudenmodulation	989
2.1.3	Modulation an einer quadratischen Kennlinie	990
2.1.4	Modulation an einer nichtlinearen nichtquadratischen Kennlinie	991
2.1.5	Zeigerdiagramm	991
2.1.6	Modulationstrapez	991
2.1.7	Demodulation von AM	992
2.1.8	Leistung von Träger und Seitenbändern	992
2.1.9	Störungen bei amplitudenmodulierten Signalen	992
2.1.10	Kreuzmodulation	993
2.2	Sonderformen der Amplitudenmodulation	993
2.2.1	Einseitenbandmodulation (ESB, SSB)	993
2.2.2	Restseitenbandmodulation (RM, VSB)	994
2.2.3	Quadraturmodulation	995
2.3	Technische Ausführung der Amplitudenmodulation	995
2.4	Winkelmodulation	996
2.4.1	Grundlagen	996
2.4.2	Kenngrößen	997
2.4.3	Zeigerdarstellung	997
2.4.4	Spektrum und Bandbreitenbedarf	997
2.4.5	Störungen bei winkelmodulierten Signalen	998
2.4.6	Preemphasis, Deemphasis	999
2.4.7	Erzeugung von Frequenz- und Phasenmodulation	999
2.4.8	Demodulation von Frequenz- und Phasenmodulation	1001
<b>3</b>	<b>Sinusträger – mit Digitalsignal moduliert</b>	1002
3.1	Amplitudenumtastung (ASK)	1002
3.2	Frequenzumtastung (FSK)	1003

3.3	Phasenumtastung (PSK) . . . . .	1003
3.3.1	Zweiphasenumtastung (2-PSK) . . . . .	1004
3.3.2	Vierphasenumtastung (4-PSK) . . . . .	1005
3.3.3	<i>n</i> -Phasen-Umtastung . . . . .	1006
<b>4</b>	<b>Pulsträger uncodiert</b> . . . . .	<b>1007</b>
4.1	Pulsamplitudenmodulation (PAM) . . . . .	1007
4.2	Pulsfrequenz- und Pulsphasenmodulation (PFM, PPM) . . . . .	1007
4.3	Pulsdauermodulation (PDM) . . . . .	1009
4.4	Pulscodemodulation (PCM) . . . . .	1009
4.4.1	Prinzip . . . . .	1009
4.4.2	Aliasing-Effekt . . . . .	1010
4.4.3	Abtast-Halte-Glied . . . . .	1010
4.4.4	Quantisierung . . . . .	1012
4.4.5	Quantisierungsgeräusch . . . . .	1012
4.4.6	Kompondierung . . . . .	1012
4.4.7	Kodierung . . . . .	1013
4.4.8	Deltamodulation (DM) und Differenz-Pulscodemodulation (DPCM) . . . . .	1014
<b>VI</b>	<b>Filter</b> . . . . .	<b>1015</b>
<b>1</b>	<b>Allgemeines</b> . . . . .	<b>1015</b>
<b>2</b>	<b>Passive R-C-Filter</b> . . . . .	<b>1016</b>
2.1	Passive R-C-Tiefpaßfilter . . . . .	1016
2.2	Passive R-C-Hochpaßfilter . . . . .	1017
2.3	Bandpaß aus R-C-Hoch- und Tiefpaßfilter . . . . .	1017
2.4	R-L-C-Bandpaß und -Bandspurie . . . . .	1019
2.5	Bandfilter . . . . .	1021
2.6	Quarzfilter, keramische Filter . . . . .	1022
2.7	Digitale Filter . . . . .	1023
2.8	Filter mit geschalteten Kondensatoren, SC-Filter . . . . .	1024
<b>VII</b>	<b>Empfängerschaltungstechnik</b> . . . . .	<b>1025</b>
<b>1</b>	<b>Geradeausempfänger</b> . . . . .	<b>1025</b>
<b>2</b>	<b>Überlagerungsempfänger</b> . . . . .	<b>1026</b>
<b>3</b>	<b>Automatische Verstärkungsregelung (AVR)</b> . . . . .	<b>1026</b>
<b>4</b>	<b>Weitere Schaltungskonzepte</b> . . . . .	<b>1026</b>
<b>VIII</b>	<b>Ton- und Bildübertragung</b> . . . . .	<b>1027</b>
<b>1</b>	<b>Rundfunk-Stereoübertragung</b> . . . . .	<b>1027</b>
<b>2</b>	<b>Fernseh-Bildübertragung</b> . . . . .	<b>1028</b>
2.1	Grundlagen, Schwarz-Weiß-Empfänger . . . . .	1028
2.2	Farbfernsehtechnik . . . . .	1031
<b>IX</b>	<b>Mehrachübertragung – Multiplexverfahren</b> . . . . .	<b>1034</b>
<b>1</b>	<b>Zeitmultiplexverfahren</b> . . . . .	<b>1035</b>
1.1	Analoge Signalübertragung . . . . .	1035
1.2	Digital kodierte Signalübertragung . . . . .	1036
<b>2</b>	<b>Frequenzmultiplexverfahren</b> . . . . .	<b>1036</b>
<b>X</b>	<b>Richtfunktechnik</b> . . . . .	<b>1037</b>
<b>XI</b>	<b>Nachrichtenübertragung über Satellit</b> . . . . .	<b>1038</b>
<b>XII</b>	<b>Nachrichtenübertragung über Lichtwellenleiter (LWL)</b> . . . . .	<b>1042</b>
<b>1</b>	<b>Physikalische Grundlagen</b> . . . . .	<b>1042</b>
<b>2</b>	<b>Grundmodelle von Lichtwellenleitern</b> . . . . .	<b>1044</b>
2.1	Mehrmoden-Stufenindex mit Totalreflexion . . . . .	1044
2.2	Mehrmoden-Gradientenindex . . . . .	1044
2.3	Einmoden-Stufenindex . . . . .	1044
<b>3</b>	<b>Technische Ausführung von Lichtwellenleitern</b> . . . . .	<b>1046</b>

<b>4</b>	<b>Lichtsender</b>	1047
<b>5</b>	<b>Lichtempfänger</b>	1047
<b>6</b>	<b>Verbinden von Lichtleitern</b>	1048
<b>XIII</b>	<b>Funkmeßtechnik – Radar</b>	1048
<b>1</b>	<b>Grundlagen, Kenngrößen</b>	1048
<b>2</b>	<b>Daten von Radaranlagen</b>	1050
<b>3</b>	<b>Funkortungssystem OMEGA</b>	1051
<b>4</b>	<b>Satellitengestütztes Ortungssystem GPS</b>	1051
<b>XIV</b>	<b>Elektroakustische Wandler</b>	1051
<b>1</b>	<b>Definitionen, Kenngrößen</b>	1051
<b>2</b>	<b>Schallempfänger</b>	1053
2.1	Kenngrößen für Mikrofone	1053
2.2	Mikrofonssysteme	1054
2.2.1	Kohlemikrofon	1054
2.2.2	Kristallmikrofon	1055
2.2.3	(Elektro-)Magnetisches Mikrofon	1055
2.2.4	(Elektro-)Dynamisches Mikrofon als Tauchspul- oder Bändchenmikrofon	1055
2.2.5	Kondensatormikrofon	1056
2.2.6	Elektret-Kondensatormikrofon	1057
2.3	Daten und Eigenschaften verschiedener Mikrofonssysteme	1057
<b>3</b>	<b>Schallsender</b>	1058
3.1	Lautsprecher- und Hörer-Systeme	1058
3.1.1	Elektrodynamisches System	1058
3.1.2	(Elektro-)Magnetisches System	1058
3.1.3	Dynamisches System	1058
3.1.4	Elektrostatisches System	1058
3.1.5	Piezoelektrisches System	1059
3.2	Kenngrößen, Daten	1059
<b>XV</b>	<b>Vermittlungstechnik</b>	1060
<b>1</b>	<b>Grundbegriffe</b>	1060
<b>2</b>	<b>Vermittlung</b>	1061
<b>3</b>	<b>Verkehrstheorie</b>	1061
<b>4</b>	<b>Ortsvermittlungstechnik</b>	1062
4.1	Endgerät	1062
4.2	Ortsnetz	1063
<b>5</b>	<b>Nationales Fernnetz</b>	1064
<b>6</b>	<b>Internationales Fernnetz</b>	1065
<b>XVI</b>	<b>Kommunikations- und Datennetze</b>	1066
<b>1</b>	<b>Lokale Kommunikations- und Datennetze</b>	1066
<b>2</b>	<b>Öffentliche Kommunikations- und Datennetze</b>	1068
2.1	Fernsprechnetz	1068
2.1.1	Kommunikationsdienste	1068
2.1.2	Telefax	1068
2.1.3	Temex	1069
2.1.4	Telebox	1069
2.1.5	Modem	1069
2.2	Integriertes Digitalnetz IDN	1069
2.2.1	Teletex, Telex	1069
2.2.2	Datex	1069
2.3	ISDN	1069
2.4	Mobilfunknetze	1070
2.4.1	Einweg-Funknetz: Funkrufdienst	1070
2.4.2	Funktelefonsysteme	1071
2.5	Internet	1072
<b>XVII</b>	<b>Optimierte Nachrichten- und Datenübertragung</b>	1073
<b>1</b>	<b>Kodierung</b>	1073

1.1	Quellenkodierung . . . . .	1073
1.1.1	Grundlagen . . . . .	1073
1.1.2	Optimalkodes . . . . .	1075
1.1.3	Datenreduktion . . . . .	1076
1.2	Kanalkodierung . . . . .	1076
1.2.1	Grundlagen . . . . .	1076
1.2.2	Maximum-Likelihood-Verfahren . . . . .	1077
1.2.3	Faltungskodierer mit Likelihood-Viterbi-Dekodierer . . . . .	1077
<b>2</b>	<b>Optimalfilter . . . . .</b>	<b>1079</b>
<b>3</b>	<b>Anwendung der Korrelation bei gestörten Signalen . . . . .</b>	<b>1082</b>
<b>Literaturverzeichnis . . . . .</b>		<b>1083</b>
	Literatur allgemein: . . . . .	1083
	Literatur zu Kapitel II: . . . . .	1083
	Literatur zu Kapitel III: . . . . .	1083
	Literatur zu Kapitel IV: . . . . .	1083
	Literatur zu Kapitel V: . . . . .	1083
	Literatur zu den Kapiteln XII, XIV und XVII: . . . . .	1083

## Signal- und Systemtheorie

<b>Häufig verwendete Formelzeichen . . . . .</b>		<b>1085</b>
<b>I</b>	<b>Einführung . . . . .</b>	<b>1086</b>
1	Darstellung in der Zeit- und in der Frequenzebene . . . . .	1086
2	Hinweise zur Anwendung . . . . .	1087
<b>II</b>	<b>Grundbegriffe . . . . .</b>	<b>1088</b>
<b>III</b>	<b>Periodische nichtsinusförmige zeitkontinuierliche Signale . . . . .</b>	<b>1089</b>
1	Reelle und komplexe Fourierreihe . . . . .	1089
2	Beispiele und Anwendungen . . . . .	1090
<b>IV</b>	<b>Nichtperiodische zeitkontinuierliche Signale . . . . .</b>	<b>1093</b>
1	<b>Fouriertransformation . . . . .</b>	<b>1093</b>
1.1	Transformationsregeln . . . . .	1093
1.2	Eigenschaften . . . . .	1093
1.3	Korrespondenztabelle . . . . .	1095
1.4	Beispiele . . . . .	1096
2	<b>Laplacetransformation . . . . .</b>	<b>1096</b>
2.1	Einführung . . . . .	1096
2.2	Transformation . . . . .	1096
2.3	Sätze zur Laplacetransformation . . . . .	1099
2.4	Anwendung der Laplacetransformation bei bekanntem $H(s)$ . . . . .	1100
2.5	Bestimmung von $H(s)$ . . . . .	1100
2.5.1	Bestimmung von $H(s)$ mit Differentialgleichung . . . . .	1100
2.5.2	Bestimmung von $H(s)$ durch direkte Transformation der Einzelemente . . . . .	1100
2.6	Beispiele . . . . .	1102
<b>V</b>	<b>Spezielle Signale . . . . .</b>	<b>1107</b>
1	<b>Stoßfunktion, <math>d</math>-Funktion, Dirac-Impuls . . . . .</b>	<b>1107</b>
2	<b>Sprungfunktion <math>s(t)</math> . . . . .</b>	<b>1107</b>
3	<b>Verknüpfung von <math>s</math>- und <math>d</math>-Funktion . . . . .</b>	<b>1108</b>
4	<b>Harmonische Schwingungen . . . . .</b>	<b>1108</b>
<b>VI</b>	<b>Leistung . . . . .</b>	<b>1109</b>
<b>VII</b>	<b>Faltungsintegral . . . . .</b>	<b>1110</b>
<b>VIII</b>	<b>Abtasttheorem . . . . .</b>	<b>1111</b>

<b>IX</b>	<b>Nichtkontinuierliche (zeitdiskrete) Signale . . . . .</b>	1112
1	Diskrete Fouriertransformation (DFT) . . . . .	1113
2	Schnelle Fouriertransformation (FFT) . . . . .	1114
3	<i>z</i> -Transformation . . . . .	1114
<b>X</b>	<b>Zufällige Signale . . . . .</b>	1118
1	<b>Grundbegriffe und Kenngrößen . . . . .</b>	1118
2	<b>Verteilungen . . . . .</b>	1121
2.1	Binomialverteilung . . . . .	1121
2.2	Poissonverteilung . . . . .	1121
2.3	Normalverteilung, Gaußverteilung . . . . .	1121
3	<b>Rauschen . . . . .</b>	1122
4	<b>Signalerkennung bei gestörter Übertragung . . . . .</b>	1123
4.1	Erkennen versteckter Periodizitäten . . . . .	1123
4.2	Signalerkennung allgemein . . . . .	1123
4.3	Signalangepaßte Filter (matched filter) . . . . .	1123
	<b>Literaturverzeichnis . . . . .</b>	1124
	Literatur allgemein: . . . . .	1124
	Literatur zu Kapitel IX: . . . . .	1124
	Literatur zu Kapitel X: . . . . .	1124

## Sachwortverzeichnis