



Leseprobe

Taschenbuch der Messtechnik

Herausgegeben von Jörg Hoffmann

ISBN (Buch): 978-3-446-44271-9

ISBN (E-Book): 978-3-446-44511-6

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-44271-9>

sowie im Buchhandel.

---

## Vorwort

Die Messtechnik ist interdisziplinär ausgerichtet wie kaum eine andere Wissenschaft. Sie zeichnet sich durch Anwendungen von der Produktionsautomatisierung bis zur Umweltanalytik aus und ist durch immer kürzere Innovationszyklen geprägt. Das betrifft vor allem die Sensorik und die rechnergestützte Messwertverarbeitung.

Solide Kenntnisse auf dem Gebiet der Messtechnik sind daher heute auf fast allen, insbesondere den ingenieur- und naturwissenschaftlichen Fachgebieten erforderlich. Das Taschenbuch der Messtechnik wendet sich an einen entsprechend großen Leserkreis: Studenten, Schüler, Wissenschaftler, Ingenieure und Techniker, die in Studium, Beruf oder Weiterbildung mit messtechnischen Aufgabenstellungen konfrontiert werden.

Das Buch ist praxisnah gegliedert. Nach den Grundlagen der Messtechnik folgen die elektrische und die nichtelektrische Messtechnik, die Messelektronik, die Rechnerkopplung sowie die Messwertausgabe und -beurteilung. Die Abschnitte zur Messwertaufnahme sind dabei nach den zu messenden Größen gegliedert.

Die Forderung, das Gesamtgebiet der Messtechnik bei fest vorgegebenem Umfang in maximal möglicher fachlicher Breite abzudecken, führt notwendigerweise zu Einschränkungen. Es wurden daher die Grundprinzipien und typische, in der Praxis häufig anzutreffende Lösungen herauskristallisiert. Auf die Darstellung der nahezu unüberschaubaren Vielfalt an Variationen messtechnischer Lösungen, die oftmals Anpassungen an verschiedene konkrete Verhältnisse sind, wurde bewusst verzichtet. Ein umfangreiches, fachlich gegliedertes Literaturverzeichnis schlägt die Brücke zur zahlreich vorhandenen Spezialliteratur.

Verlag und Herausgeber möchten die Leser des Taschenbuches ermuntern, ihre Verbesserungsvorschläge und Wünsche zu formulieren. Sie werden dankbar entgegengenommen.

Abschließend ist es dem Herausgeber ein Bedürfnis, stellvertretend für alle beteiligten Autoren, Frau Dipl.-Ing. Erika Hotho vom Fachbuchverlag Leipzig und Herrn Dr. Steffen Naake, Chemnitz, für die stets hervorragende Zusammenarbeit sehr herzlich zu danken.

---

## Vorwort zur 7. Auflage

Da auch die sechste Auflage des Taschenbuches wieder eine sehr gute Resonanz hatte, konnten wir die Gelegenheit für Aktualisierungen zur siebenten Auflage nutzen. In fast allen Beiträgen wurden kleinere Unebenheiten oder missverständliche Formulierungen überarbeitet, um die Qualität des Buches weiter zu erhöhen, sowie das Literaturverzeichnis aktualisiert. Aufgrund der technischen Entwicklung in der Beleuchtungstechnik (Stichwort LED-Leuchten) wurden größere Aktualisierungen im Abschnitt „Messung optischer Größen“ vorgenommen.

Stellvertretend für alle Autoren möchte ich mich bei unserer Lektorin, Frau Franziska Jacob, M. A., bedanken, sowie bei Herrn Dr.-Ing. Steffen Naake, Brand-Erbisdorf, für die in gewohnter Weise hohe Qualität bei der Erstellung von Layout und Satz.

Verbunden mit einem Dank für alle Hinweise und Anregungen zur sechsten Auflage möchten wir unsere Leser zur Artikulation derselben auch für die vorliegende siebente Auflage herzlich ermuntern.

Osnabrück, im Juli 2015

Jörg Hoffmann

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Grundbegriffe (W. Richter, A. Hebestreit)</b>	<b>8</b>
1.1	<i>Gegenstand der Messtechnik</i>	8
1.2	<i>Messtechnische Disziplinen, Aufgaben und Ziele</i>	9
1.2.1	Bezeichnungen	9
1.2.2	Strategische Ziele	11
1.2.3	Messtechnische Handlungen und Einrichtungen	13
1.3	<i>Größen und Einheiten</i>	15
1.3.1	Größen	16
1.3.2	Einheiten	16
1.4	<i>Messgrößenwandlung</i>	18
1.5	<i>Grundstrukturen</i>	21
1.6	<i>Weiterverarbeitung</i>	24
1.7	<i>Unifizierung und Schnittstellen</i>	26
1.7.1	Aufgabenunifizierung	26
1.7.2	Schnittstellen	26
1.8	<i>Signale</i>	27
1.8.1	Signalmerkmale	28
1.8.2	Signalwandlung	30
1.8.3	Abtastung und Analog/Digital-Umsetzung	32
1.8.4	Einheitssignale	33
1.9	<i>Kennfunktionen und Kennwerte</i>	35
1.9.1	Statische Kennfunktionen und Kennwerte	36
1.9.2	Dynamische Kennfunktionen und Kennwerte	37
1.9.3	Fehler	39
1.10	<i>Entwicklungstendenzen</i>	39
1.10.1	Historischer Rückblick	40
1.10.2	Ausblick	42
<b>2</b>	<b>Messen elektrischer Größen (G. Gruhn, A. Hebestreit)</b>	<b>44</b>
2.1	<i>Größen in Gleich- und Wechselspannungssystemen</i>	44
2.1.1	Gleichspannung und Gleichstrom	44
2.1.2	Wechselspannung und Wechselstrom	47
2.1.3	Grundschaltelemente	51
2.1.4	Wechselspannungen und Wechselströme im Dreiphasensystem	53
2.1.5	Impulsförmige und zufällige Spannungs- und Stromverläufe	56
2.1.6	Leistung	57
2.1.6.1	Wirkleistung	58
2.1.6.2	Blindleistung	60
2.1.6.3	Scheinleistung	61
2.1.6.4	Leistungsfaktor	62
2.1.7	Wirk- und Blindenergie	62
2.1.8	Größen des elektrischen und magnetischen Feldes	62
2.2	<i>Messwerke und Messgeräte</i>	64
2.2.1	Messung zeitlicher Verläufe	72
2.2.2	Messung von Gleichstrom und Gleichspannung	78
2.2.3	Messung des Quotienten zweier Gleichgrößen	80

2.2.4	Messung des Spitzenwertes	80
2.2.5	Messung des Gleichrichtwertes	81
2.2.6	Messung des Effektivwertes	82
2.2.7	Messung der Leistung	86
2.2.8	Messung der Energie	88
2.2.9	Messung der Frequenz	91
2.2.10	Messung des Phasenwinkels	92
2.2.11	Messung magnetischer Feldgrößen	94
2.2.12	Messung elektrischer Feldgrößen	95
2.2.13	Universalmessgeräte und Messplätze	95
2.2.14	Kenngrößen und Anwenderinformationen	97
2.3	<i>Messzubehör</i>	98
2.3.1	Normale	98
2.3.2	Messwiderstände	99
2.3.3	Spannungsteiler	99
2.3.4	Messwandler	101
2.3.5	Messumformer	103
2.4	<i>Messverfahren zur Messung elektrischer Größen</i>	105
2.4.1	Widerstand	106
2.4.2	Induktivität	108
2.4.3	Kapazität und Verlustfaktor	110
2.4.4	Spannung	112
2.4.5	Strom	114
2.4.6	Leistung	114
2.4.7	Energie	116
2.4.8	Phasenwinkel	117
2.4.9	Frequenz	117
2.4.10	Klirrfaktor	118
2.4.11	Formfaktor	118
2.4.12	Teilentladungen	118
2.5	<i>Analyse elektrischer Signale</i>	119
2.5.1	Harmonische Analyse	119
2.5.2	Fourier-Transformation	121
<b>3</b>	<b>Messen nichtelektrischer Größen</b>	<b>125</b>
3.1	<i>Temperatur (E. Schrüfer)</i>	125
3.1.1	Thermoelemente	125
3.1.2	Metall-Widerstandsthermometer	129
3.1.3	Heißleiter	131
3.1.4	Kaltleiter	133
3.1.5	Silizium-Widerstandstemperatursensor	134
3.1.6	Silizium-Sperrschicht-Temperatursensor	135
3.1.7	Quarztemperatursensor	136
3.1.8	Faseroptisches Lumineszenzthermometer	137
3.1.9	Störung des Temperaturfeldes durch Berührungsthermometer	138
3.1.10	Thermosäule	139
3.1.11	Bolometer	140
3.1.12	Pyroelektrischer Temperatursensor	140
3.1.13	Strahlungspyrometer	143
3.2	<i>Druck (K. W. Bonfig)</i>	144

3.2.1	Federelastische Druckmessgeräte	145
3.2.2	Flüssigkeitsmanometer	148
3.2.3	Druckmessumformer	149
3.2.3.1	Druckmessumformer nach dem Dehnungsmessstreifen- (DMS-)Prinzip	150
3.2.3.2	Druckmessumformer nach dem piezoresistiven Prinzip	150
3.2.3.3	Druckmessumformer nach dem induktiven Prinzip	153
3.2.3.4	Druckmessumformer nach dem kapazitiven Prinzip	154
3.2.3.5	Druckmessumformer nach dem Prinzip der Resonanz- frequenzmessung	156
3.2.3.6	Druckmessumformer nach dem piezoelektrischen Prin- zip	157
3.2.3.7	Druckmessumformer mit Schwingquarzen	158
3.2.3.8	Drucksensoren nach dem Prinzip der akustischen Oberflächenwellen	158
3.2.4	Vakuumdruckmessung	159
3.3	<i>Durchfluss (K. W. Bonfig)</i>	160
3.3.1	Durchflussmessung durch energetische Beziehungen einer Strö- mung	161
3.3.2	Volumenzähler	164
3.3.3	Schwebekörper-Durchflussmessung	166
3.3.4	Magnetisch-induktive Durchflussmessung (MID)	168
3.3.5	Wirbelfrequenz-Durchflussmessung	169
3.3.6	Laufzeitverfahren (Korrelation)	172
3.3.7	Ultraschall-Durchflussmessung	173
3.3.8	Massendurchflussmessung nach dem Coriolis-Prinzip	176
3.3.9	Durchflussmessung auf thermischer Grundlage	178
3.3.10	Geschwindigkeitsmessung nach dem Laser-Doppler-Verfahren	180
3.4	<i>Füllstand und Grenzstand (K. W. Bonfig)</i>	181
3.4.1	Verfahren mit Schwimmern und Tastplatten	181
3.4.2	Kapazitive und konduktive Füllstandsmessung	183
3.4.3	Füllstandsmessung mit thermischen Verfahren	185
3.4.4	Füllstandsmessung mit radiometrischen Verfahren	186
3.4.5	Füllstandsmessung mit Schall und Ultraschall	187
3.4.6	Füllstandsmessung mit optischen Verfahren	188
3.4.7	Füllstandsmessung mit Mikrowellen nach dem Radar-Prinzip	189
3.4.8	Füllstandsmessung über Kraft- und Druckmessungen	190
3.4.9	Weitere Methoden zur Grenzstandsüberwachung und zur Füll- standsmessung	191
3.5	<i>Dichte (K. W. Bonfig)</i>	192
3.5.1	Dichtemessung fester Stoffe	193
3.5.1.1	Wägemethoden	193
3.5.1.2	Auftriebsmethoden	193
3.5.2	Dichtemessung von Flüssigkeiten	194
3.5.2.1	Wägemethoden, kontinuierlich und diskontinuierlich	194
3.5.2.2	Auftriebsmethoden, kontinuierlich und diskontinuier- lich	195
3.5.2.3	Hydrostatische Dichtemessmethoden	197
3.5.2.4	Radiometrische Dichtemessmethoden	198

	3.5.2.5	Resonanz- bzw. Schwingungsdichtemessmethoden	198
	3.5.2.6	Spezielle Verfahren für die Dichtemessung	199
3.5.3		Dichtemessung von Gasen	199
	3.5.3.1	Wäge- und Auftriebsmethoden zur Gasdichtemessung	199
	3.5.3.2	Ausström- und Schleuderverfahren für die Gasdichtemessung	200
	3.5.3.3	Schwingungsmethoden für die Gasdichtemessung	201
3.6		<i>Viskosität (K. W. Bonfig)</i>	202
	3.6.1	Abhängigkeit der Viskosität von verschiedenen Einflussgrößen	205
	3.6.2	Kapillarviskosimeter	206
	3.6.3	Rotationsviskosimeter	206
	3.6.4	Verschiebung zweier konzentrischer Zylinder	207
	3.6.5	Kugelfallviskosimeter	207
	3.6.6	Schwebekörperviskosimeter	207
	3.6.7	Schwingungsviskosimeter	207
3.7		<i>Oberflächenspannung (J. Hoffmann)</i>	208
	3.7.1	Ringaufnehmer	208
	3.7.2	Plattenaufnehmer	209
3.8		<i>Messen mechanischer und geometrischer Größen (J. Hoffmann, W. Richter)</i>	209
	3.8.1	Messen von Längen und Winkeln	209
		3.8.1.1 Mechanische Verfahren	210
		3.8.1.2 Induktive und kapazitive Verfahren	211
		3.8.1.3 Optische Verfahren	213
		3.8.1.4 Ultraschallverfahren	217
		3.8.1.5 Winkelbestimmung	218
	3.8.2	Positionsbestimmung	219
		3.8.2.1 Optische Verfahren	219
		3.8.2.2 Nichtoptische Verfahren	220
	3.8.3	Messen von Dehnungen und daraus abgeleiteten Größen	223
		3.8.3.1 Metall-Dehnungsmessstreifen	225
		3.8.3.2 Halbleiter-Dehnungsmessstreifen	226
		3.8.3.3 Anordnungen von Dehnungsmessstreifen	227
	3.8.4	Messen von Kräften	228
	3.8.5	Beschleunigungs- und Schwingungsmessung	231
	3.8.6	Messung der Masse	234
	3.8.7	Drehmomentmessung	236
	3.8.8	Messen von Oberflächeneigenschaften fester Stoffe	238
		3.8.8.1 Bestimmung von Gestaltabweichungen	238
		3.8.8.2 Bestimmung der Härte	240
		3.8.8.3 Bestimmung der Schichtdicke	241
3.9		<i>Zeitmessung (H. Kopp)</i>	242
	3.9.1	Zeitskalen	242
	3.9.2	Zeitbasen	243
		3.9.2.1 RC-Schaltungen	243
		3.9.2.2 Kondensator-Konstantstromladung	244
		3.9.2.3 LC-Oszillatoren	244
		3.9.2.4 Quarzoszillatoren	245
	3.9.3	Zeitsignale von Funksendern	245

---

3.9.3.1	DCF77	245
3.9.3.2	GPS	246
3.9.3.3	Galileo	247
3.10	<i>Frequenzmessung (H. Kopp)</i>	247
3.10.1	Bestimmung der Frequenz	247
3.10.2	Rückführung der Frequenz- auf die Zeitmessungen	247
3.10.3	Frequenzteiler, Frequenzvervielfachung	248
3.11	<i>Drehzahl- und Winkellageerfassung (H. Kopp)</i>	249
3.11.1	Optische Signalgeber	249
3.11.2	Induktive Signalgeber	250
3.11.3	Feldplatten- und Hall-Geber	251
3.11.4	Tachogenerator	252
3.11.5	Stroboskop	252
3.12	<i>Konzentrations- und Analysenmesstechnik (J. Hoffmann)</i>	252
3.12.1	Wichtige Grundprinzipien	253
3.12.1.1	Prinzip der Absorption	254
3.12.1.2	Prinzip der Reflexion	255
3.12.1.3	Prinzip der Emission	255
3.12.1.4	Prinzip der Chromatographie	256
3.12.2	Gas- und Flüssigkeitschromatographie	257
3.12.3	Massenspektroskopie	259
3.12.4	NMR-Spektroskopie	261
3.12.5	Röntgenfluoreszenzanalyse	262
3.12.6	Optische Analyseverfahren	265
3.12.6.1	UV/VIS-Spektroskopie	265
3.12.6.2	Flammenspektroskopie / AAS, AES	266
3.12.6.3	Funken-/Bogenspektroskopie	267
3.12.6.4	Fluoreszenzspektroskopie	268
3.12.6.5	Infrarot- und Raman-Spektroskopie	269
3.12.6.6	Refraktometrie	273
3.12.6.7	Polarimetrie	276
3.12.7	Kalorimetrie	277
3.12.8	Wärmeleitfähigkeitsmessung zur Gaskonzentrationsbestimmung	279
3.12.9	Wärmetönungsmessung	280
3.12.10	Flammenionisationsmessung	281
3.12.11	Sauerstoffmessung	282
3.12.11.1	Ringkammersauerstoffsensor	282
3.12.11.2	Hitzdrahtsauerstoffsensor	283
3.12.11.3	Magnetomechanische Geräte	284
3.12.11.4	Magnetopneumatische Geräte	285
3.12.11.5	Festkörper-Sauerstoffsensor	286
3.12.12	Feuchtemessung	287
3.12.12.1	Aspirationshygrometer	288
3.12.12.2	LiCl-Hygrometer	289
3.12.12.3	Elektrolysehygrometer	290
3.12.12.4	Tauspiegelhygrometer	291
3.12.12.5	Kapazitive Feuchtesensoren	292
3.12.12.6	Haarhygrometer	292
3.12.12.7	Bistreifenhygrometer	293



3.12.12.8	Neutronen-Feuchtesensor	294
3.12.12.9	Weitere Feuchtesensoren	295
3.12.13	Konduktometrie	296
3.12.14	Potentiometrie	297
3.12.14.1	pH-Wert-Sensoren	297
3.12.14.2	Ionenselektive Sensoren	299
3.12.14.3	Redoxpotentialsensoren	300
3.12.15	Elektrodenkinetische Messverfahren	300
3.12.16	Partikelmesstechnik	301
3.12.16.1	Mechanische Verfahren	303
3.12.16.2	Optische Verfahren	304
3.12.16.3	Sedimentationsverfahren	309
3.12.16.4	Feldstörungsverfahren	313
3.12.16.5	Akustische Verfahren	314
3.12.16.6	Oberflächenbestimmungsverfahren	314
3.12.17	Probennahme und Probenteilung	315
3.13	Messung ionisierender Strahlung (E. Schrüfer)	316
3.13.1	Größen und Einheiten	316
3.13.2	Detektoren für $\gamma$ -Strahlung	317
3.13.2.1	Ionisationskammer	318
3.13.2.2	Auslösezählrohr	318
3.13.2.3	Szintillationszähler	319
3.13.2.4	Halbleiter-Strahlungsdetektor	320
3.13.2.5	Impulshöhenanalyse	321
3.13.3	Detektoren für $\beta$ -Strahlung	321
3.13.4	Detektoren für $\alpha$ -Strahlung	321
3.13.5	Neutronenflussmessung	322
3.13.5.1	$\text{BF}_3$ -Zählrohr	323
3.13.5.2	Borbelegte Ionisationskammer	323
3.13.5.3	Spaltkammer	323
3.13.5.4	Neutronen-Beta-Detektoren	324
3.13.6	Dosismessung	325
3.13.7	Integriertes Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Umweltradioaktivität	326
3.14	Messung optischer Größen (H. Kopp)	327
3.14.1	Strahlungsphysikalisches und lichttechnisches Maßsystem	327
3.14.2	Empfänger zur Messung optischer Strahlung	329
3.14.2.1	Fotowiderstände	330
3.14.2.2	Fotodioden	331
3.14.2.3	Fototransistoren	333
3.14.2.4	Sekundärelektronenvervielfacher (SEV) und Kanalelektronenvervielfacher (KEV)	334
3.14.2.5	Charge Coupled Device (CCD)	335
3.14.2.6	Lateraleffektdioden	336
3.14.2.7	Breitbandige Strahlungsempfänger	336
3.14.2.8	UV-Sensoren	337
3.14.3	Besonderheiten von Empfängern für Lichtmessungen	337
3.14.3.1	$V(\lambda)$ -Anpassung	337
3.14.3.2	Kosinusanpassung	338

3.14.4	Messung lichttechnischer Größen	339
3.14.4.1	Verfahren der Lichtschwächung	339
3.14.4.2	Beleuchtungsstärke	340
3.14.4.3	Leuchtdichte	342
3.14.4.4	Lichtstrom	343
3.14.4.5	Lichtstärke	345
3.14.4.6	Lichtstärkeverteilung	346
3.14.4.7	Farbmessungen	347
3.14.4.8	Lichttechnische Stoffkennzahlen	351
3.14.5	Fotometrische Normale	352
3.14.5.1	Fotometrische Strahlungsnormale	352
3.14.5.2	Fotometrische Empfängernormale	352
3.14.5.3	Fotometrische Reflexionsnormale	352
3.14.5.4	Normlichtarten	352
3.15	Messung akustischer Größen (G. Fuder)	353
3.15.1	Schalldruckpegel	353
3.15.1.1	Bewertete Schalldruckpegel	355
3.15.1.2	Addition von Schalldruckpegeln	357
3.15.1.3	Mittelwerte des Schalldruckpegels	358
3.15.2	Geräte zur Messung von Schalldruckpegeln	359
3.15.3	Beurteilung praktischer Schallsituationen	360
3.15.4	Lautstärkepegel und Lautheit	362
3.15.4.1	Ermittlung des Lautstärkepegels durch Hörvergleich	362
3.15.4.2	Lautheit	365
3.15.4.3	Berechnung von Lautstärkepegel und Lautheit	365
3.15.4.4	Vergleich der Kenngrößen Schalldruckpegel, Lautstärkepegel und Lautheit	367
3.15.5	Schallleistungspegel	367
3.15.6	Direkte Messung der Schallintensität	370
3.15.7	Akustische Nahfeld-Holografie	371
<b>4</b>	<b>Messelektronik</b>	<b>374</b>
4.1	Analoge Messelektronik (C. Lehmann)	374
4.1.1	Prinzipien der analogen Messwertverarbeitung	374
4.1.1.1	Strukturen und Komponenten von Messeinrichtungen	375
4.1.1.2	Prinzip der Rückkopplung	377
4.1.1.3	Varianten der elektrischen Anpassung	378
4.1.2	Systemkomponenten analoger Messgeräte	381
4.1.2.1	Tastköpfe	381
4.1.2.2	Sensoren in Brückenschaltungen	382
4.1.2.3	Messverstärker	387
4.1.2.4	Analoge Rechenschaltungen	402
4.1.2.5	Hilfsschaltungen für Messwandler	409
4.1.2.6	Analoge elektronische Schalter	415
4.1.2.7	Filter	419
4.2	Digitale Messelektronik (K. Urbanski)	424
4.2.1	Grundlagen der Digitaltechnik	424
4.2.1.1	Zuordnungssysteme	425
4.2.1.2	Boolesche Algebra	427
4.2.1.3	Logische Grundverknüpfungen	431

4.2.1.4	Minimieren von Schaltfunktionen	432
4.2.2	Kombinatorische Grundschaltungen	436
4.2.2.1	Code-Umsetzer	436
4.2.2.2	Zahlenkomparator	438
4.2.2.3	Multiplexer und Demultiplexer	439
4.2.2.4	Addierer	440
4.2.3	Sequentielle Grundschaltungen	442
4.2.3.1	Prinzipieller Aufbau einer sequentiellen Schaltung	442
4.2.3.2	Monostabile Kippstufen (Monoflops)	443
4.2.3.3	Bistabile Kippstufen (Flipflops)	443
4.2.3.4	Zähler	446
4.2.3.5	Register und Schieberegister	449
4.2.4	Eigenschaften digitaler integrierter Schaltkreise	451
4.2.5	Anwenderspezifische Bausteine (ASICs)	457
4.2.5.1	Fullcustom	458
4.2.5.2	Semicustom	458
4.2.5.3	Programmierbare Logik	459
4.2.6	Mikrocomputer-Schaltkreise	462
4.2.6.1	Struktur des Mikrocomputers	463
4.2.6.2	Mikroprozessoren	464
4.2.6.3	Schreib-/Lesespeicher (RAM)	465
4.2.6.4	Festwertspeicher (ROM)	469
4.2.6.5	Ein-/Ausgabe-Bausteine	470
4.2.6.6	Mikrocontroller	470
4.2.7	Messgeräte für die Logikanalyse	473
4.2.7.1	Logikprüfer	473
4.2.7.2	Logikanalysator	474
<b>5</b>	<b>Rechnerkopplung</b>	<b>476</b>
5.1	<i>Grundlagen und Begriffe (J. Hoffmann)</i>	476
5.1.1	A/D-Umsetzer	479
5.1.1.1	Parallel-A/D-Umsetzer	480
5.1.1.2	Sukzessive-Approximation-A/D-Umsetzer	481
5.1.1.3	Nachlauf-A/D-Umsetzer	482
5.1.1.4	Rampen-A/D-Umsetzer	483
5.1.1.5	Dual-Slope-A/D-Umsetzer	484
5.1.1.6	Charge-Balancing-A/D-Umsetzer	486
5.1.1.7	Delta-Sigma-Umsetzer	487
5.1.2	D/A-Umsetzer	489
5.1.2.1	Stromgewichtete D/A-Umsetzer	489
5.1.2.2	R-2R-D/A-Umsetzer	490
5.2	<i>Intelligente Sensorik (K. Urbanski)</i>	490
5.3	<i>Bussysteme in der Messtechnik (H. Kopp)</i>	494
5.3.1	Bus-Topologie	495
5.3.2	OSI-Schichtenmodell	496
5.3.3	Physikalische Schnittstellenstandards	497
5.3.3.1	RS232C	497
5.3.3.2	RS422	498
5.3.3.3	RS485	499
5.3.4	Datenübertragung	499

5.3.4.1	Busse für serielle Übertragung	499
5.3.4.2	Synchronisationsverfahren	500
5.3.4.3	Bus-Zugriffsverfahren	500
5.3.4.4	Bus-Protokolle	501
5.3.4.5	Sicherung gegen Übertragungsfehler	501
5.3.5	Messgerätebus IEEE488	502
5.3.5.1	IEEE STD 488.1	502
5.3.5.2	IEEE STD 488.2	503
5.3.6	Beispiele genormter Feldbussysteme	503
5.3.7	Kopplungen unterschiedlicher Bussysteme (Gateways)	503
5.3.8	Maßnahmen zur elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV)	505
<b>6</b>	<b>Ausgabegeräte (C. Lehmann)</b>	<b>507</b>
6.1	<i>Digitale Anzeigeelemente</i>	507
6.1.1	Optoelektronische Anzeigeelemente	507
6.1.1.1	Binärsignal-Anzeige mit LED	508
6.1.1.2	Quasi-analoge Anzeige	508
6.1.1.3	Numerische Anzeige mit LCD	509
6.1.1.4	Alphanumerische Anzeigen	510
6.2	<i>Bildsichtgeräte</i>	511
6.2.1	Farbbildröhren für Monitore	511
6.2.1.1	Prinzipieller Aufbau	512
6.2.1.2	Frequenzkennwerte	512
6.2.1.3	Grundfunktionen der Grafikkarte	514
6.2.2	LCD-Bildschirme	515
6.3	<i>Drucker</i>	516
6.3.1	Funktionsprinzipien im Überblick	516
6.3.2	Kommunikations-Schnittstellen	517
6.3.2.1	Centronics-Schnittstelle	518
6.3.2.2	IEC-Bus-Schnittstelle	519
6.3.2.3	Serielle Schnittstelle EIA-232	519
6.3.2.4	USB-Schnittstelle	520
6.3.2.5	Firewire-Schnittstelle	521
<b>7</b>	<b>Das Konzept Messfehler (J. Hoffmann, J. Biermann)</b>	<b>522</b>
7.1	<i>Fehlerdefinition</i>	522
7.2	<i>Fehlerarten</i>	523
7.2.1	Quantisierungsfehler und digitaler Restfehler	523
7.2.2	Statische Fehler	525
7.2.3	Dynamische Fehler	526
7.2.4	Systematische Fehler	529
7.2.5	Zufällige Fehler	530
7.3	<i>Trennung von systematischen und zufälligen Fehleranteilen</i>	530
7.4	<i>Kennlinienkorrektur</i>	531
7.4.1	Lineare Approximation	532
7.4.2	Geradenapproximation	533
7.4.3	Polynominterpolation	535
7.4.4	Spline-Interpolation	538
7.5	<i>Fehlerfortpflanzung</i>	540
7.6	<i>Messbereich, Auflösung und Messgenauigkeit</i>	541

7.7	<i>Auswertung von Messergebnissen</i> . . . . .	542
7.7.1	Der Begriff der Messreihe . . . . .	542
7.7.1.1	Schätzwerte und wahre Werte . . . . .	543
7.7.1.2	Mittelwert und Erwartungswert . . . . .	543
7.7.1.3	Stichprobenvarianz und Varianz . . . . .	544
7.7.1.4	Mittlerer Fehler der Einzelmessung . . . . .	544
7.7.1.5	Mittlerer Fehler des Mittelwertes . . . . .	546
7.7.1.6	Mittlerer Fehler der Standardabweichung . . . . .	548
7.7.1.7	Empirische Kovarianz und Korrelationskoeffizient . . . . .	549
7.7.2	Grafische Darstellung von Messergebnissen . . . . .	549
7.7.2.1	Histogramm und Verteilungsdichtefunktion . . . . .	549
7.7.2.2	Summenhäufigkeit und Verteilungsfunktion . . . . .	551
7.7.2.3	Weitere Darstellungsmöglichkeiten . . . . .	552
7.7.3	Regressionsrechnung . . . . .	552
7.7.3.1	Einfache lineare Regression . . . . .	553
7.7.3.2	Vertrauensintervalle für Regressionskoeffizient und -konstante . . . . .	555
7.7.3.3	Mehrfache lineare und nichtlineare Regression . . . . .	555
7.7.4	Tests . . . . .	556
7.7.4.1	Der $t$ -Test als einseitiges Problem . . . . .	558
7.7.4.2	Der $t$ -Test als zweiseitiges Problem . . . . .	558
7.7.4.3	Der $\chi^2$ -Streutest . . . . .	559
7.7.4.4	Der $t$ -Zweistichprobentest . . . . .	559
7.7.4.5	Der $F$ -Test . . . . .	560
7.7.5	Weitere Auswertungsmethoden . . . . .	560
<b>8</b>	<b>Das Konzept Messunsicherheit (F. Adunka)</b> . . . . .	<b>562</b>
8.1	Messwertverteilungen . . . . .	567
8.2	Die Verteilungsfunktion der Ergebnisgröße . . . . .	573
8.3	Korrelierte Eingangsdaten . . . . .	574
8.4	Kritik an der Vorgehensweise nach dem GUM . . . . .	579
8.5	Vorgehensweise bei der Berechnung von Messunsicherheiten . . . . .	580
8.5.1	Schematische Vorgehensweise nach EA-4/02 . . . . .	580
8.5.2	Angabe der Messunsicherheit . . . . .	581
8.5.3	Unsicherheitsangabe bei Digitalanzeigen . . . . .	581
8.6	Weitere Beispiele . . . . .	582
8.7	Ergänzende Bemerkungen . . . . .	589
<b>9</b>	<b>Einheiten und Umrechnungen (W. Richter, J. Hoffmann)</b> . . . . .	<b>591</b>
	<b>Formelzeichenverzeichnis</b> . . . . .	<b>611</b>
	<b>Verzeichnis englisch-deutscher Begriffe</b> . . . . .	<b>614</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b> . . . . .	<b>622</b>
	<b>Sachwortverzeichnis</b> . . . . .	<b>649</b>

## 2 Messen elektrischer Größen

Das Messen elektrischer Größen beschränkt sich hier auf die quantitative Bestimmung der Größen von drahtgebundenen Stromkreisen, d. h., elektromagnetische Wellenvorgänge im freien Raum sind ausgeklammert. Historisch gesehen interessierten nur die Größen der Elektroenergieerzeugung, -verteilung und -nutzung, jedoch mit der Entwicklung der Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik sowie der Nachrichtentechnik dienen elektrische Größen wie Spannung und Strom als Träger von Informationen. Sie werden zu Signalen ( $\rightarrow$  1.8), ihre zeitlichen Verläufe sind je nach verwendetem Informationsparameter mannigfaltig.

### 2.1 Größen in Gleich- und Wechselspannungssystemen

Es werden die Grundgrößen und Grundgesetze des elektrischen Stromkreises bei Gleich- und Wechselspannung sowie wesentliche Zusammenhänge des Dreiphasenwechselspannungssystems dargestellt. Entsprechend der messtechnischen Vorgehensweise werden alle Zusammenhänge im Zeitbereich dargestellt. Auf die Analogien zwischen elektrischem Stromkreis und elektrischem bzw. magnetischem Feld wird eingegangen.

#### 2.1.1 Gleichspannung und Gleichstrom /2.1/, /0.38/

**Gleichspannung** und **Gleichstrom** (direct voltage, direct current) sind elektrische Größen, deren Momentanwerte zu allen Zeitpunkten konstant sind ( $\rightarrow$  Bild 2.1).

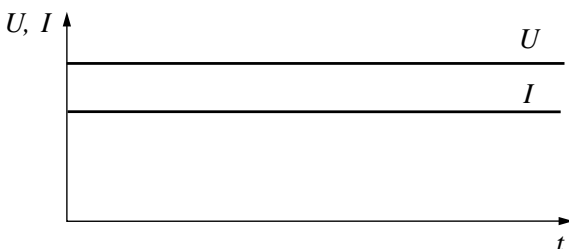


Bild 2.1 Verlauf von Gleichspannung und Gleichstrom

- *Beachte:* Die SI-Einheit der Spannung ist, unabhängig von ihrem Verlauf,  $[U], [u] = \text{V}$  (Volt), die der Stromstärke  $[I], [i] = \text{A}$  (Ampere).

Gleichspannungen treten in elektrischen Stromkreisen als *Quellenspannungen* und Spannungsabfälle auf. Bild 2.2 zeigt den Grundstromkreis, bestehend aus idealer Quellenspannung und Widerstand ( $\rightarrow$  2.1.3) als Verbraucher mit den zugeordneten Zählrichtungen.

Die **Quellenspannung** ist der messbare Spannungsabfall einer Spannungsquelle und ist vom Plus- zum Minuspol gerichtet. Sie ist dem angetriebenen Strom entgegengerichtet ( $\rightarrow$  Bild 2.2).

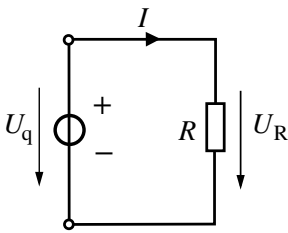


Bild 2.2 Grundstromkreis mit idealer Quellenspannung

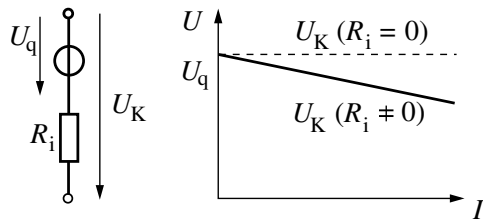


Bild 2.3 Reale Quellenspannung mit Spannungs-Stromkennlinien

Elektrische Quellenspannungen  $U_q$  entstehen, wenn Ladungen  $Q$  unterschiedlichen Vorzeichens durch äußere Energiezufuhr  $W$  getrennt werden.

$$U_q = \frac{W}{Q} \quad (2.1)$$

► *Beachte:* Die SI-Einheit der Ladung ist  $[Q] = \text{C}$  (Coulomb) =  $\text{A} \cdot \text{s}$  (Amperesekunde).

Für praktische Anwendungen steht ein breites Angebot von Spannungsquellen als *Batterien* oder elektronisch *stabilisierte Netzgeräte* zur Verfügung. Batterien haben einen Innenwiderstand  $R_i$ , wodurch die Klemmenspannung  $U_K$  mit zunehmendem Strom abnimmt ( $\rightarrow$  Bild 2.3). Mit zunehmender Entladung steigt der Innenwiderstand. Elektronisch stabilisierte Netzgeräte regeln die Klemmenspannung bis zum Nennstrom auf einen konstanten Wert. Tabelle 2.1 zeigt eine Auswahl von Spannungsquellen.

Im geschlossenen Stromkreis ( $\rightarrow$  Bild 2.2) treibt die Quellenspannung einen elektrischen Strom an. Elektrischer Strom bedeutet die Bewegung von Ladungsträgern in elektrischen Leitern.

Die **elektrische Stromstärke** ist der Quotient aus der Ladungsmenge  $dQ$ , die während der Zeit  $dt$  durch einen elektrischen Leiter fließt. Ist diese konstant, so handelt es sich um Gleichstrom. Die technisch positive Stromrichtung in einem Stromkreis ist vom Plus- zum Minuspol der Quellenspannung gerichtet.

Tabelle 2.1 Auswahl von Spannungsquellen

Typ (Besonderheit) Werkstoffpaarung; Auswahl	Quellenspannungs- bereich Kapazitätsbereich	Auswahl möglicher Anwendungen
Knopfzelle als Batterie (einmalig entladbar) Zn-Luft, Zn-MnO <sub>2</sub> , Li-MnO <sub>2</sub>	(1,4 ... 3) V (5 ... 1 000) mAh	Hörgeräte, Uhren, LED-Taschenlampen, elektronische Messgeräte
Knopfzelle als Akkumulator (ladbar, bis ca. 400 Ladezyklen) Nickel-Metallhydride, Lithium-Vanadumpentoxid	(1,2 ... 7) V (7 ... 40) mAh	Fotoapparate, Kameras, Kommunikationsgeräte, elektronische Schaltungen, elektronische Messgeräte
Batterie (einmalig entladbar) Zink-Mangandioxid (Alkaline) Lithium-Mangandioxid	(1,5 ... 9) V (3,5 ... 3 000) mAh	Uhren, Taschenrechner, Rundfunkgeräte, Fernbedienungen, Warnanlagen
Akkumulatoren Nickel-Metallhydrid (Ni MH) (ladbar, bis 1000 Zyklen) Lithium-Eisenphosphat (Li-Ion) (ladbar, 1 000 bis 5 000 Zyklen)	1,2 V (300 ... 2 850) mAh (3,6 ... 180) V (1,6 ... 30 000) Ah	Jegliche elektronische Geräte, Werkzeuge, Fahrräder, Hybrid- und Elektroautos, Seefahrt, große Elektroenergiespeicher
Bleibatterie (Akkumulator) (ladbar, bis ca. 2 000 Zyklen) Verdrängung durch Li-Ion-Akku	Zellenspannung 2 V, Reihenschaltung für höhere Spannungen (1 ... 12 000) Ah	Starter- und Pufferbatterie für Fahrzeuge, Werkselektroautos, Energiespeicher
Elektronische Netzgeräte (Wechselspannung gleichgerichtet und geglättet, auch als Konstantstromquelle möglich)	(0 ... 100) V (0 ... 20) A	Betreiben elektronischer Schaltungen

Augenblickswert der Stromstärke:

$$i = \frac{dQ}{dt} \quad (2.2)$$

Gleichstrom:

$$I = \frac{Q}{t} \quad (2.3)$$

Beim Fließen des Stromes durch einen Widerstand ( $\rightarrow$  2.1.3) wird in diesem die *Energie*  $W$  umgesetzt, die der Spannungsquelle entzogen wird. Diese Arbeit wird durch die Bewegung der elektrischen Ladung  $Q$  verrichtet. Es entsteht ein Spannungsabfall  $U$ .

Die **elektrische Spannung (Spannungsabfall)** ist der Quotient aus der zur Verschiebung der Ladung erforderlichen Arbeit  $W$  und der Ladung  $Q$ . Der Spannungsabfall hat die gleiche Richtung wie der fließende Strom.



$$U = \frac{W}{Q} \quad (2.4)$$

$$U = IR \quad (2.5)$$

Die Gl. (2.5) ist die Strom-Spannungs-Beziehung ( $\rightarrow$  2.1.3).

### 2.1.2 Wechselspannung und Wechselstrom /2.1/, /0.38/

**Wechselspannung und Wechselstrom** (alternating voltage, alternating current) sind elektrische Größen, deren Momentanwerte sich nach dem Zeitintervall  $T$  (Periode) wiederholen und deren arithmetische Mittelwerte ( $\rightarrow$  Gl. (2.12)) gleich null sind.

In der Regel haben Wechselspannung und Wechselstrom einen zeitlich sinusförmigen Verlauf ( $\rightarrow$  Bild 2.4). Die Momentanwerte von Wechselspannung und Wechselstrom werden durch die Gln. (2.6) und (2.7) beschrieben.

$$u(t) = \hat{u} \sin \omega t \quad (2.6)$$

$$i(t) = \hat{i} \sin(\omega t - \varphi) \quad (2.7)$$

Kennwerte dieser Gleichungen sind die *Spitzen-* oder *Scheitelwerte*  $\hat{u}$  und  $\hat{i}$ , die *Kreisfrequenz*  $\omega$  und der *Phasenwinkel*  $\varphi$ .

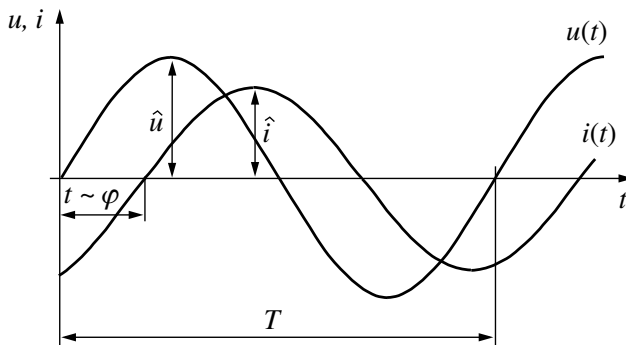


Bild 2.4 Wechselspannungs- und Wechselstromverlauf

Die **Kreisfrequenz** ist das  $2\pi$ -fache der Frequenz.

$$\omega = 2\pi f \quad (2.8)$$

Die **Frequenz**  $f$  ist der Kehrwert der *Periodendauer*  $T$  und gibt an, wie oft sich die Schwingung je Zeiteinheit wiederholt.

$$f = \frac{1}{T} \quad (2.9)$$

► *Beachte:* Die SI-Einheit der Frequenz ist

$$[f] = \text{Hz (Hertz)} = \frac{1}{\text{s}}.$$

□ *Beispiele* für technische Frequenzen sind 50 Hz in der Elektroenergieversorgung in Deutschland, 60 Hz in den USA und in Europa im Bereich der Traktion 16 2/3 Hz oder 50 Hz.

2

Der **Phasenwinkel**  $\varphi$  gibt die zeitliche Verschiebung zweier Wechselgrößen im Winkel- oder Bogenmaß an.

$$\varphi = \frac{360^\circ}{T}t, \quad \varphi = \frac{2\pi}{T}t \quad (2.10)$$

► *Beachte:* Im Bild 2.4 eilt der Strom der Spannung zeitlich nach. In Gl. (2.7) steht demzufolge  $-\varphi$ . In der Bezeichnung wird nicht zwischen Bogen- und Winkelmaß unterschieden.

Definitionsgemäß müssen die Wechselgrößen Spannung und Strom nicht unbedingt rein sinusförmig sein. In der Praxis verursachen nichtlineare Verbraucher unerwünschte Oberschwingungen ( $\rightarrow$  Bild 2.5).

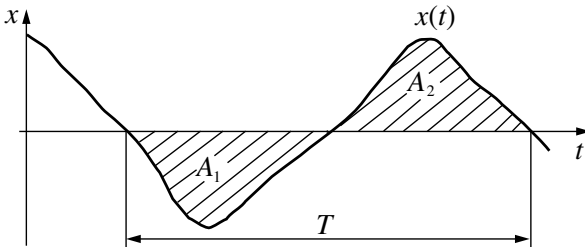


Bild 2.5 Periodische nichtsinusförmige Funktion

**Periodische nichtsinusförmige Spannungen**  $u(t)$  und **Ströme**  $i(t)$  lassen sich als Summe von Sinusschwingungen (Harmonischen) unterschiedlicher Frequenzen mit zugeordneten Amplituden und Phasenwinkeln darstellen ( $\rightarrow$  Gl. (2.11)).

$$x(t) = \sum_{i=1}^n \hat{x}_i \sin(\omega_i t - \varphi_i) \quad (2.11)$$

$x$  steht für  $u$  oder  $i$ , die Größe  $n$  ist durch die Anzahl der Harmonischen gegeben.

□ *Beispiele* für nichtlineare Verbraucher sind z. B. geregelte Antriebe, Fernseher, Lichtbogenschmelzöfen.

## Kenngrößen zur Bewertung von Wechselgrößen:

### Arithmetischer Mittelwert (Gleichwert)

Der **Gleichwert** ist der arithmetische Mittelwert der Spannung oder des Stromes über eine Periode.

$$\bar{X} = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} x(t) dt \quad (2.12)$$

Gl. (2.12) ist geeignet, festzustellen, ob die Funktion  $x(t)$  eine reine Wechselgröße ist ( $\rightarrow$  Bild 2.5), d. h.  $A_1 + A_2 = 0$  und  $\bar{X} = 0$  ( $A_1$  geht in den Integralwert negativ ein).

### Gleichrichtwert

Der **Gleichrichtwert** ist der arithmetische Mittelwert des Betrages von Spannung oder Strom einer Periode.

$$|\bar{X}| = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} |x(t)| dt \quad (2.13)$$

Die Betragsbildung bedeutet, dass die negativen Halbwellen der Wechselgrößen ( $\rightarrow$  Bild 2.4, Bild 2.5) in den positiven Bereich geklappt werden und davon der arithmetische Mittelwert gebildet wird. Der Gleichrichtwert ist für die Messtechnik ( $\rightarrow$  2.2) interessant, da sich unabhängig von der Frequenz bei sinusförmigen Wechselgrößen nach den Gln. (2.6) und (2.7) einfache Zusammenhänge zwischen Effektivwert und Spitzenwert nach Gl. (2.15) bzw. Effektivwert und Gleichrichtwert nach Gl. (2.17) ergeben.

### Effektivwert

Der **Effektivwert** ist der quadratische Mittelwert von Spannung oder Strom einer Periode.

$$X = \sqrt{\frac{1}{T} \int_t^{t+T} x^2(t) dt} \quad (2.14)$$

Die Effektivwerte der Spannung  $U$  und des Stromes  $I$  bewirken in einem ohmschen Widerstand ( $\rightarrow$  2.1.3) den gleichen Energieumsatz ( $\rightarrow$  2.1.6.1) in Form von Wärmeenergie wie die äquivalente Gleichspannung  $U$  oder die Gleichstromstärke  $I$ .

**Scheitelfaktor**

Der **Scheitelfaktor** ist das Verhältnis von Spitzenwert (Scheitelwert) zum Effektivwert von Spannung oder Strom.

$$k_s = \frac{\hat{x}}{X} \quad (2.15)$$

Für reine Sinusgrößen gilt unabhängig von der Frequenz:

$$k_s = \sqrt{2} \approx 1,414 \quad (2.16)$$

Damit sind die Spitzenwerte von Spannung  $\hat{u}$  und Strom  $\hat{i}$  aus gemessenen Effektivwerten einfach bestimmbar.

**Formfaktor**

Der **Formfaktor** ist das Verhältnis von Effektivwert zum Gleichrichtwert einer Wechselgröße.

$$k_f = \frac{X}{|X|} \quad (2.17)$$

Für reine Sinusgrößen gilt unabhängig von der Frequenz:

$$k_f = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} \approx 1,11 \quad (2.18)$$

Damit sind Effektivwerte von Spannung  $U$  und Strom  $I$  für sinusförmige Wechselgrößen durch einfach zu messende Gleichrichtwerte bestimmbar. Für periodisch nichtsinusförmige Verläufe kann der Formfaktor je nach Kurvenform größer oder kleiner als dieser Wert sein.

**Klirrfaktor /0.55/**

Der **Klirrfaktor** ist das Verhältnis des Effektivwertes aller Oberschwingungen zum Effektivwert aller Harmonischen der Oberschwingungsbehafteten Wechselgröße.

$$K = \sqrt{\frac{\sum_{i=2}^n X_i^2}{\sum_{i=1}^n X_i^2}} \quad (2.19)$$

Bildet man nach Einsetzen von Gl. (2.11) in Gl. (2.14) den Effektivwert, so ergibt sich dieser aus der geometrischen Summe der Effektivwerte der einzelnen Harmonischen.

$$X = \sqrt{\sum_{i=1}^n X_i^2} = \sqrt{X_1^2 + X_2^2 + \dots + X_n^2} \quad (2.20)$$

Der Klirrfaktor ist zugleich ein Maß für die Oberwellenleistung zur Gesamtleistung eines nichtlinearen Verbrauchers.

### 2.1.3 Grundschaltelemente /2.1/, /0.38/

Grundschaltelemente des elektrischen Stromkreises sind der ohmsche Widerstand  $R$  (resistance), die Induktivität  $L$  (inductivity) und die Kapazität  $C$  (capacity). Die Schaltzeichen sind im Bild 2.6 dargestellt.

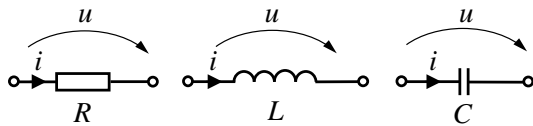


Bild 2.6 Schaltzeichen der Grundschaltelemente

#### Ohmscher Widerstand

Elektrische Leiter setzen dem Stromfluss einen Widerstand entgegen.

Der **ohmsche Widerstand** ist ein elektrischer Leiter, dessen Widerstand unabhängig von der Höhe des Stromes ist, Spannung und Strom sind proportional.

Das **ohmsche Gesetz** ist die Gleichung, die diesen Zusammenhang beschreibt.

$$R = \frac{u}{i} = \text{const.} \quad (2.21)$$

- *Beachte:* Die SI-Einheit des Widerstandes ist  $[R] = \Omega$  (Ohm).

Bei Wechselgrößen ist gemäß der Definition der Phasenwinkel  $\varphi = 0$  ( $\rightarrow$  Bild 2.4). Metallische Leiter verhalten sich bei konstanter Temperatur annähernd wie ohmsche Widerstände.

- *Beachte:* Viele halbleitende Widerstände (Dioden, Heißleiter, Kaltleiter) weisen diese Proportionalität nicht auf. Sie sind nur in einer Richtung leitend oder ändern ihren Widerstand in Abhängigkeit von der Stromstärke. Bei sinusförmigen Spannungsabfällen fließen Oberschwingungsbehaftete Ströme.

---

# Sachwortverzeichnis

## A

- AAS 275 f.
- Abbilden 34
- Abbildung zeitlicher Verläufe 81
- Abbildungsgröße 35
- Abbildungssignal 36
- Abfallzeit 65
- Abgleichen 107
- Ablaufsteuerung 473
- Ablehnungsbereich 566
- Ableitung, partielle 549 f.
- Ablenkensystem 521
- Ablösekraftsensor 250
- Abprodukt 19
- Abscheidespannung 309
- Absolutbewegungsaufnehmer 240
- Absolut-Drehgeber 258
- Absorption 263, 313
- Absorptionsgrad 361
- Absorptionsspektrofotometrie 274 f.
- Absorptionsspektroskopie 274
- Abstandsänderung 348
- Abstandsmessung 226
- Abtast- und Halteschaltung 422
- Abtastabstand 129, 131
- Abtastfrequenz 129, 133
- Abtastsatz 131
- Abtastschaltung 416
- Abtastsignal 384
- Abtasttheorem 42, 422, 431, 485
- Abtastung 41, 131, 422, 424
  - , diskrete 132
- Abweichung, des arithmetischen Mittelwertes 576
- Abweichungsanzeige 23
- Achsabschnitt 534, 541, 543
- Acquisition time 487
- Addierer 409, 412, 449
  - , 4-Bit- 450
- Addition, logarithmische 413
- Adressbit 427
- Adressbus 472
- Adressdecoder 472
- Adressensteuerung 426
- Adsorbentien 266
- A/D-Umsetzer 272, 488, 532
- Advanced-LS-TTL 462
- Advanced-Schottky-TTL 462
- Aerosol 275
- AES 275 f.
- Akkumulator 474
- Aktivität 325
- Aktiv-Matrix-Display 524
- Aktor 502
- Aliasing 486
- Allpass 391
- alternierender Betrieb 83
- ALU 474
- Aluminiumoxid 301
- Amperometrie 309
- Amplituden-Frequenzgang 429
- Amplitudengang 537
- Amplitudenkennlinie 537
- Amplitudenspektrum 132
- Amplitudenstufe 38
- analog 37 f.
- Analog/Digital-Umsetzer 428, 488
- Analog/Digital-Umsetzung 41, 422
- Analog-Multiplexer 426 f.
- Analogrechenschaltung 411
- Analogschalter 417, 423 ff.
- Analogwertebereich 532
- Analogwertspeicher 422
- Analyse 21
  - elektrischer Signale 128
  - von zeitbegrenzten Signalen 130
- Analysenmesstechnik 20, 261
- Analysenprobe 325
- Analysensiebmaschine 312
- AND Array 468
- Andreasenpipette 319
- Angleichverfahren 372
- anisotroper magnetoresistiver Effekt 231
- Anlaufwert 45

Annahme 565  
Annubar-Durchflussmesser 172  
Anpassung 34, 387, 389  
Anpassverstärker 82  
Anschlussbezeichnung 111  
Anschlussparameter 35  
Anstiegsantwort 537  
Anstiegsgeschwindigkeit 424  
Anstiegszeit 65, 536  
Anti-Blockier-System 259  
Antifuse 471  
Anti-Schlupf-System 260  
Antivalenz 437  
Antwortfunktion 46, 535  
Anwenderinformation 106  
Anzahlhäufigkeit 311  
Anzeige 35  
Anzeigebereich 45, 543  
Aperture time 488  
Aperture time jitter 488  
Approximation, lineare 541  
–, sukzessive 490  
Äquivalentdosis 326  
Äquivalenz 437  
Aräometer 205, 320  
Arbeitselektrode 309  
Arbeitspunkt 535  
Arbitrationslogik 477  
Arithmetic Logic Unit 473  
arithmetischer Mittelwert 58, 573,  
576 f., 580, 583  
Aronschtaltung 125  
ASCII-Code 445  
ASCII-Protokoll 510  
ASCII-Sonderzeichen 529  
ASCII-Zeichen 519  
aselektives Verhalten 349  
ASI 513  
ASIC 466  
Aspirationshygrometer 297 f.  
assoziative Gesetze 438  
ATE 503  
Atmosphärendruck 153  
Atomabsorptionsspektroskopie 275  
Atomemissionsspektroskopie 275  
ATR 280  
Aufgabengröße 25  
Aufheizverfahren 187  
Auflösung 489, 522, 550, 590, 594 f.

Auflösungsvermögen 550  
–, spektrales 131  
Aufnehmer, piezoelektrischer 238  
Auftrittswahrscheinlichkeit 580  
Ausbreitungswiderstand 143  
Ausgabegerät 516  
Ausgabevektor 451  
Ausgangsgröße 589  
Ausgangsimpedanz 401  
Ausgangslastfaktor 461  
Ausgangssignal 535  
–, binäres 491  
Ausgangswiderstand 398, 400  
Ausgleichsleitung 136  
Auslösezählrohr 327  
Ausschlagmethode 23, 114  
Aussteuerbereich 397  
Ausstrahlung, spezifische 337  
Auswertung 20  
Autofokusverfahren 248

## B

Back-Lighted-CCD 346  
Balgenfeder 155  
Balgenzähler 174  
Balkendiagramm 561  
Bandbreite 403, 406, 408  
Bandbreiten-Verstärkungs-Produkt  
399, 402  
Bandstrahlungspyrometer 152  
Bargraph-Anzeige 517  
Basiseinheit 26, 600  
Batterie 54  
Baud 529  
Bauglied 30  
Baum 504 f.  
Baustein, anwenderspezifischer 466  
–, programmierbarer logischer 443  
Bauwerksüberwachung 239  
BCD-Code 517 f.  
BCD-Dualcode 446  
Becquerel 325  
Beeinflussung, elektromagnetische 514  
Befehlsdecoder 473  
Begrenzer 418  
Begrenzung 419  
Beleuchtungsstärke 337, 349  
–, planare 350  
–, zylindrische 348, 350

- Beleuchtungsstärkemesser 348, 350  
 Beleuchtungsstärkemessgerät 349  
 Berührungsthermometer 134, 147, 153  
 Beschleunigung 236, 240  
 Beschleunigungsmessung 240  
 Beschleunigungssensor, kapazitiver 242  
 –, monolithischer Si- 242  
 –, piezoelektrischer 242  
 Bestimmungsgleichung 545  
 Bestrahlungsstärke 337  
 BET-Methode 323  
 Betrieb, alternierender 83  
 Betriebsdichte 201  
 Betriebsmesstechnik 18  
 Betriebstechnik 19  
 Betriebsüberwachung 19  
 Beugungsring 316  
 Beugungsspektrometer 316  
 Beurteilungspegel 368  
 Bezugsselektrode 307, 309  
 Bezugsgröße 25  
 Bezugslichtart 362  
 Bezugsschalldruck 363  
 BF<sub>3</sub>-Zählrohr 332  
 Bildanalysensystem 313  
 Bildwiederholfrequenz 522  
 Bimetallmesswerk 91 f.  
 BIMOS-Technologie 423  
 binär 38  
 Binary Coded Decimal BCD 445  
 Bingham'sche Substanz 212  
 Biquad-Struktur 433  
 Bistreifenhygrometer 302  
 Bitbus (A) 513  
 Bitstream 497  
 Bitzahl 488  
 Blende 172 f.  
 Blenden 349  
 Blindenergie 125  
 Blindenergiezähler 97 f.  
 Blindleistung 69, 95 ff.  
 Blindleistungsmessung 125  
 Blockdarstellung 31  
 Bode-Diagramm 398, 402  
 Bogenspektroskopie 276  
 Bolometer 149, 152, 345  
 Boltzmann-Konstante 389  
 Bombenkalorimeter 287  
 Boolesche Algebra 436  
 –, Rechenregeln 438  
 Boolescher Prozessor 480  
 Borbelegte Ionisationskammer 332  
 Bor-Ionisationskammer,  $\gamma$ -kompensierte 332  
 Bourdon-Manometer 156  
 Brandwarnung 19  
 Brechungsgesetz 282  
 Brechungsindex 267  
 Brechzahl 282  
 –, absolute 283  
 Brennwert, spezifischer 287  
 Brinell-Verfahren 249  
 Brownsche Molekularbewegung 321  
 Brückenschaltung 140, 391  
 Brückenverstimmung 411  
 Brückenweig 91  
 Bubble-Jet 526  
 Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen 26  
 Bürdenwiderstand 111 f.  
 Bus 504, 528  
 Bus-Protokoll 510  
 Bussystem 503, 528  
 Bus-Topologie 504  
 Byte 475  
**C**  
 CAN 513  
 Candela 338  
 Carry Look Ahead 451  
 CCD-Sensor 225  
 CCD-Zeile 198, 223  
 cd 338  
 C-Ebene 355  
 Center-trigger 484  
 Centronics-Schnittstelle 527  
 Charge Coupled Device 344  
 Charge-Balancing-A/D-Umsetzer 495  
 $\chi^2$ -Streutest 568  
 Chopperbetrieb 83  
 Chopperstabilisierter Verstärker 407 f.  
 Chopperverstärker 407  
 Chromatographie 265  
 Clamping 418  
 Client/Server-Prinzip 512  
 CMOS 462  
 CMOS-Analogschalter 407



- CMOS-Familie 460  
CMOS-Schalter 409, 426  
CMOS-Schalterzelle 425 f.  
CMOS-Schaltkreis 463  
Code 445  
–, alphanumerischer 445  
–, BCD- 456  
–, Johnson- 460  
–, numerischer 445  
Codescheibe 258  
Codetabelle 518  
Code-Umsetzer 445  
Codierung 40  
Codierungsart 445  
Compton-Effekt 326  
Computer-Simulation 431  
Coriolis-Kraft 185  
Coriolis-Massendurchflussmessung 186  
cos-getreue Bewertung 351  
cos-Vorsatz 347  
Coulter-Verfahren 322  
CPLD (Complex Programmable Logic Design) 470  
CPU 480  
CRC-Code 510  
Curie 325  
Curie-Temperatur 142  
CW-Verfahren 271
- D**  
Dampfphase 268  
Dämpfungsmaß 388  
Datenbus 472  
Datenquelle 504  
Datenselektor, adressengesteuerter 448  
Datensenke 504  
Datenspeicher 481  
Datenübertragung 508  
–, massebezogene 506  
–, serielle 459  
Dauerschallpegel, äquivalenter 368  
Dauerstrichradarverfahren, frequenzmoduliertes 198  
D/A-Umsetzer 491, 498  
–, stromgewichteter 498  
dB 363, 371  
DCF77 254  
Deep-Depletion-CCD 346  
Dehnung 233, 236, 239 f.  
Dehnungsmessstreifen 159, 232, 234 f.  
–, Anordnung 236  
Dehnungssensor, kapazitiver 237  
Delta-Sigma-Umsetzer 496  
Demodulation 40  
Demodulator 406, 411  
De-Morgansche Gesetze 438  
Demultiplexer 448  
–, 1-zu-4- 448  
Detektor, für  $\alpha$ -Strahlung 330  
– für  $\beta$ -Strahlung 330  
– für  $\gamma$ -Strahlung 326  
–, Neutronen-Beta- 333  
determiniert 38  
Dezibel 363  
Dezimalzähler 457  
D-Flipflop, flankengesteuertes 453  
–, zustandsgesteuertes 453  
Diaphragma 307  
Dichte 170, 201, 218  
–, relative 201  
–, zustandsbezogene 201  
Dichtefunktion 551, 577, 579  
Dichtemesser 170  
Dichtemessmethode, hydrostatische 206  
–, radiometrische 207  
Dichtemessung 202 f.  
Dickschichttechnik 161  
Differenzdruck 158, 294  
Differenzdruckmessung 153  
Differenzialanordnung 231  
Differenzialdrossel 163  
Differenzialgleichung 46, 538  
Differenzial-Plattenkondensator 164  
Differenzialprinzip 220, 222, 394  
Differenzialquerankeraufnehmer 221  
Differenzialtauchankeraufnehmer 220, 242, 246  
Differenzialtransformator 163  
Differenzierer 416  
Differenzmethode 23, 114  
Differenzprinzip 236  
Differenzverstärker 385, 401, 410, 412  
Differenzverstärkung 397, 402 f., 412  
digital 38  
Digital/Analog-Umsetzer 428, 488, 520, 523

- Digitaleinheit 85  
 Digitalfilter 428  
 Digitalisierung 485  
 Digitalisierungsstufe 85  
 Digitalmultimeter 87, 89  
 –, mit echter Effektivwertbildung 91 f.  
 Digitaltechnik 433  
 Digitalwert 532  
 dilatante Substanz 212  
 Diode 414, 418 f., 421  
 –, ideale 421  
 Diodenschaltung 418  
 Diodenschwellspannung 418  
 DIR-Spektroskopie 279  
 Disjunktion 437  
 diskontinuierlich 38, 203 f.  
 diskret 37 f.  
 Diskretisierung, zeitliche 41  
 disperses Stoffsystem 310  
 Dispersitätszustand 310  
 distributive Gesetze 438  
 Dividierer 414  
 DMS 232  
 DMS-Wägezelle 244  
 Doppelabtastung 223  
 Doppelleitung 388  
 Doppler-Verfahren 182, 184  
 Doppler-Verschiebung 189  
 Dosisleistung 326  
 Dosismessung 334  
 Draht-DMS 234  
 Drahtmesswiderstand 139  
 Drahtwendel 279  
 DRAM-Controller 477  
 Dreheisenmesswerk 91 f.  
 Drehkolbengaszähler 174  
 Drehmoment 236  
 Drehmomentmessung 245  
 –, induktive 246  
 –, kapazitive 246  
 –, magnetoelastische 246  
 – mit Dehnungsmessstreifen 246  
 Drehspiegel 356  
 Drehspiegel-System 356  
 Drehspulmesswerk, mit Gleichrichter-  
 schaltung 90  
 Drehstromsystem 62  
 Drehzahlerfassung 258  
 Dreibereichsverfahren 357 f.  
 3-D-Grafik 561  
 Dreieckschaltung 64  
 Dreieckspannung 416  
 Dreieckverteilung 581 f., 596  
 Dreiphasen-Wechselspannungssystem  
 62  
 Drift 406  
 DRIFT 280  
 Dripteigenschaften 408  
 Droop 488  
 Druck 153, 159, 214, 239  
 – in Fluiden 29  
 Druckaufnehmer, induktiver 163  
 Druckempfindlichkeit 393  
 Druckgradient 379  
 Druckmessgerät, federelastisches 154  
 Druckmessumformer 158  
 –, piezoelektrischer 166  
 Druckmessung 153  
 Druckpuffer 527  
 Drucksensor 391  
 – nach dem Prinzip der akustischen  
 Oberflächenwellen 167  
 Drucksensor-Brücke 391  
 Dual Switch 426  
 Dualcode 445  
 Dual-Code 223  
 Dual-Slope-A/D-Umsetzer 492 f.  
 Dualzähler 456  
 –, 4-Bit- 456  
 Dunkelstrom 340  
 Dünnschichttechnik 159, 524  
 Dünnschichttechnologie 231  
 Dünnschichtwiderstand 415  
 Durchflussmesser, induktiver 178  
 Durchflussmessung, magnetisch-  
 induktive 177  
 Durchlasswiderstand 424  
 Durchlicht-Verfahren 259  
 Durchmesserbestimmung 226  
 Düse 172 f.  
 D-Verhalten 416  
 dynamisches Verhalten 535 f.
- E**
- Echolot 196  
 Echomethode 226  
 ECL 463  
 ECL-Familie 460

- Edelmetallelektrode 309  
EEPROM (Electrically Erasable PROM) 479  
Effekt, pyroelektrischer 150  
effektiver Freiheitsgrad 591  
Effektivwert 58, 91  
Effektivwertmessung 91  
Eichen 17  
Eichpflicht 26  
Eichung, amtliche 540  
Eidgenössisches Amt für Maß und Gewicht 26  
Eigenerwärmung 140  
Eigenleitungsbereich 144  
Eigensicherheit 403  
Eigenstrahlung 152  
Ein-/Ausgabe, separate 479  
–, Speicher- 479  
Ein-/Ausgabebaustein 479  
Ein-/Ausgabeblock 471  
Einbaubedingung 147  
Einfachmitkopplung 429  
Einflussgröße 22, 562, 589  
Eingabevektor 451  
Eingangsdaten, korrelierte 583  
Eingangsgröße 575, 583, 589, 598  
Eingangsimpedanz 401  
Eingangslastfaktor 461  
Eingangs-Offsetspannung 408  
Eingangs-Offsetstrom 408  
Eingangs-Rauschspannung 408  
Eingangsschaltung 82  
Eingangsschaltung Triggerung 83  
Eingangssignal 535  
–, analoges 488  
Eingangswiderstand 398, 400, 408, 412  
Einheit 25  
–, abgeleitete 26  
–, abgeleitete, mit besonderem Namen 26  
–, angelsächsische 615–618  
–, für Energie und Leistung 619  
–, gesetzliche, mit besonderem Namen 26, 601 ff.  
–, nichtkohärente 27  
Einheitsgröße 18  
Einheitssignal 42 f.  
–, elektrisches 43  
–, pneumatisches 42  
Einlasssystem 268  
Einperlmethode 199  
Einperlverfahren 206  
Einquadranten-Multiplizierer 413  
Einschwingvorgang 424  
Einschwingzeit 47, 106, 536 f.  
Einstellzeit 424  
Einweggleichrichter 421  
Einweglichtschranke 228  
Einzelbildverfahren 318  
Einzelbitrechner 480  
Elektretmikrofon 368  
elektrische Ladung 237  
elektrischer Strom 29  
Elektrolysehygrometer 299  
Elektrolysestrom 299  
Elektrometerverstärker 405  
Elektronenspinresonanz 271  
Elektronenstoßfotoionisation 268  
Elektronenstrahloszilloskop 109  
Elektronenstrahlröhre 82  
Elektrostriktion 238  
Elementbetrieb 341  
Embedded Controller 480, 499  
Emission 264, 272  
Emissionsspektralfotometrie 275  
Emissionsspektrum 264  
Emitter Coupled Logic (ECL) 462  
Empfangsbauelement 228  
Empfindlichkeit 45, 135, 406, 534 f.  
Empfindlichkeitsabgleich 393  
Empfindlichkeitskoeffizient 576, 584, 593  
empirische Varianz 573, 578, 592  
EMV 403  
ENABLE 426  
ENABLE-Eingang 426  
Endlagenschalter 230  
Endverstärker 83 f.  
Energie 125, 619  
–, elektrische 97  
Energiedosis 326  
Energieumwandlung 19  
Energieverteilung 19  
Energiezähler 125  
Entfernungsgesetz, fotometrisches 348  
Entladung, elektrostatische 514  
Entnahmesonde 324  
Entwicklungsgeschichte 25

- EPROM (Erasable PROM) 478  
 Erdung 109  
 Ergebnisgröße 582, 598  
 Erkundungsmessung 21 f.  
 Erscheinungsform 37  
 Erwartungswert 540, 552, 555, 565,  
 577 f., 580, 582, 584, 589  
 –, empirischer 552, 558  
 erweiterte Messunsicherheit 582 f.,  
 589, 593, 595, 597  
 erweiterte Unsicherheit 589  
 Erweiterungsfaktor 582, 590, 595  
 Expertensystem 569  
 Expositionspegel 368  
 Extinktion 263, 313  
 Extinktionskoeffizient 313, 316  
 Extinktionsmessung 313  
 $E_0$ -Vorsatz 347 f.  
 $E_z$ -Vorsatz 348
- F**
- FAMOS-Transistor 478  
 Fan-In 461  
 Fan-Out 461  
 Faraday-Effekt 286  
 Farbabstand 359  
 Farbkorrekturfilter, integrierter 342  
 Farbmessung 356  
 Farbmodi 523  
 Farbsehen 356  
 Farbtemperatur 357  
 –, ähnlichste 357  
 Farbtiefe 523  
 Farbtripel 521  
 Farbvalenz 356  
 Farbwiedergabeindex 359  
 Federbalgmanometer 155  
 Federhygrometer 302  
 Federkörper 239  
 Federrohrmanometer 156  
 Federwaage 243  
 Fehler 48, 531  
 –, absoluter 531  
 –, dynamischer 535  
 –, grober 532  
 –, maximaler 549  
 –, mittlerer der Einzelmessung 553  
 –, mittlerer der Standardabweichung  
 557  
 –, mittlerer zu erwartender des Gesamt-  
 ergebnisses 549  
 –, reduzierter 532  
 –, relativer 531  
 –, statischer 534  
 –, systematischer 538, 550 f., 571  
 –, systematischer des Gesamtergebnis-  
 ses 550  
 –, zufälliger 539, 549, 551, 571  
 Fehleranteil, zufälliger 540  
 Fehlerart 532  
 Fehlerdefinition 531  
 Fehlerdiagnose 21  
 Fehlerfortpflanzung 549  
 Fehlerfortpflanzungsgesetz 584, 588  
 –, Gauß'sches 571, 574, 583 f.  
 Fehlergrenze 592  
 Fehlerklasse 106, 555  
 Fehlerkurve 533  
 Fehlerreduktion 21  
 Fehlerverteilungsfunktion, Gauß'sche  
 576  
 Fehlwinkel 111 f.  
 Feinmessskala 226  
 Feinstruktur 30  
 Feinwaage 243  
 Feld, elektrisches 71  
 –, magnetisches 71  
 Feldbus 504  
 Feldeffekttransistor 423  
 Feldgerät 503  
 Feldgröße, elektrische 104  
 –, magnetische 103  
 Feldionisation 268  
 Feldplatte 230, 260  
 Feldplatten-Geber 260  
 Feldstärke, elektrische 104  
 Feldstärkemesser 104  
 Feldstörungsverfahren 322  
 Feldsweep 271  
 Fensterfunktion 131  
 –, Dreieck- 131  
 –, Hamming 131  
 – von Hann 131  
 Fernbus 504  
 Fernfeldbedingung 377  
 Fernfeldrichtcharakteristik 382  
 Fertigungsmesstechnik 18, 20  
 Fertigungstechnik 19

- Festkörper-Sauerstoffsensoren 295  
Festwertspeicher 478  
FET-Zerhacker 407  
Feuchte, absolute 296, 299  
–, maximale 296  
–, relative 296, 299  
Feuchtemessung 296  
Feuchtesensor 304  
–, kapazitiver 301  
FIFO-Speicher 478  
Filmdosimeter 334  
Filter 428  
–, aktive RC- 428 f.  
–, Bessel- 429 f.  
–, Butterworth- 429 f.  
–, FIR- 428  
–, IIR- 428  
–, SC- 428, 431 ff.  
–, Tschebyscheff- 429 f.  
Filterart 433  
Filterkoeffizient 429  
Filtertyp 429 f.  
Filterverhalten 433  
Firewire-Schnittstelle 530  
Fizeau-Interferometer 249  
Flagregister 474  
Flammenfotometer 275  
Flammenionisationsdetektor 290, 327  
Flammenionisationsmessung 290  
Flammenspektroskopie 275  
Flash-Wandler 489  
Fließkurve 212  
Fließverhalten 310  
Flipflop 452  
–, getaktetes 453  
–, zustandsgesteuertes 453  
Floating-Gate 478  
Flügelrad 174  
Fluoreszenz 265, 277, 346  
–, totale 277  
Fluoreszenzspektroskopie 277  
Fluoreszenzspektrum 277  
Fluorimeter 277  
Flussdichtemesser 103  
Flüssigkeit, dilatante 214  
–, newtonsche 214  
–, pseudoplastische, strukturviskose 214  
Flüssigkeitschromatograph 266  
Flüssigkeits-Chromatographie 268  
Flüssigkeitskalorimeter 287  
Flüssigkeitsmanometer 157  
Flüssigkeitsoberfläche 218  
Flüssigkeitsspiegel 217  
Flüssigkeitsvolumen 217  
Flüssigkristall-Anzeigeelement 518  
Flussspannung 418 f.  
Flussstrom 414  
Flussverdrängung 250  
Folgezustandsvektor 451  
Folien-DMS 234  
Formfaktor 59, 127  
Fortpflanzungsgesetz, für zufällige Messabweichungen 574  
Fotodiode 340  
–, Avalanche- 342  
–, monolithische 341  
–, PIN- 342  
Fotodiodenzeile 341 f.  
Fotoeffekt 326  
–, innerer 339 f.  
Fotoelement 341  
Fotolumineszenz-Dosimeter 335  
Fotometerkugel 353  
Fotometrie 338  
fotometrische Empfängernormale 361  
fotometrische Normale 361  
fotometrische Reflexionsnormale 361  
fotometrische Strahlungsnormale 361  
Fototransistor 342 f.  
Fotovervielfacher 328  
Fotowiderstand 339  
Fourier-Analyse 127  
–, räumliche 382  
Fourier-Integral 130  
Fourier-Transformation 130  
–, diskrete 130  
–, schnelle (FFT) 133  
FPGA (Field Programmable Gate Array) 471  
Fraunhofer-Beugung 316  
Freifeldverfahren 377  
Freigabeverzögerung 427  
Freiheitsgrad 553, 583  
–, effektiver 591  
–, Methode der effektiven 590  
Fremdkörpereinfluss 354

- Frequenz 56, 97, 100, 126, 132, 256, 495  
 –, diskrete 132  
 Frequenzbestimmung 127  
 Frequenzbewertung 364 f.  
 Frequenzdifferenzverfahren 184  
 Frequenzgang 46  
 Frequenzgangkompensation 390, 397, 401  
 Frequenzkompensation 400  
 Frequenzmesser, digitaler 100  
 Frequenzmessung 100, 256  
 Frequenzsweep 271  
 Frequenzteiler 257, 455  
 –, 1 : 2- 455  
 Frequenzteiler, asynchron 257  
 Frequenzvervielfachung 257  
*F*-Test 569  
 FTIR-Spektroskop 279 f.  
 FT-Raman-Spektrometer 278  
 Fullcustom 467  
 Füllstandsmessung 190  
 –, kapazitive 192  
 –, konduktive 192  
 – mit Flügelrad 200  
 – mit interferometrischer Abstandsmessung 197  
 – mit Mikrowellen 198  
 – mit optischen Verfahren 197  
 – mit radiometrischen Verfahren 195  
 – mit Schall und Ultraschall 196  
 – mit thermischen Verfahren 194  
 – mit Verdrängermethoden 199  
 –, optische, nach dem Triangulationsprinzip 197  
 – über eine Druckmessung 199  
 – über eine Wägung 199  
 Funken-/Bogenspektroskopie 276  
 Funkenspektroskopie 276  
 Funksender 254  
 Funktionalmatrix 598  
 Fuzzy-Logik 197, 570
- G**
- Galileo 256  
 $\gamma$ -Strahlung 207  
 Garantiefahrgrenze 555  
 Gas, ideales 202  
 –, reales 202  
 Gasadsorptionsmethode 323  
 Gaschromatograph 266  
 Gaskonzentrationsbestimmung 289  
 Gasreibungs-Vakuummeter 168  
 Gate Array 468  
 Gateway 512  
 Gatterdurchlaufzeit 462  
 Gauß'sche Fehlerverteilungsfunktion 576  
 Gauß'sche Normalverteilung 577  
 Gauß'sches Eliminationsverfahren 545, 548  
 Gauß'sches Fehlerfortpflanzungsgesetz 549, 571, 574, 583 f.  
 Gebäudeleittechnik 19  
 Gegenelektrode 309  
 Gegenfeld 293  
 Gegenkopplung 386, 397, 401, 423  
 Gegenkopplungsgrad 386  
 Geiger-Müller-Zählrohr 327  
 geometrischer Effekt 234  
 Geradenapproximation 542, 544  
 Geradrohranordnung 186  
 Gesamtschalleistung 382  
 Gesamtstrahlungspyrometer 152  
 Gesamtübertragungsfaktor 31  
 geschätzte Kovarianz 586  
 geschätzte Varianz 585  
 Geschwindigkeit 29, 240  
 Geschwindigkeitsaufnehmer 242  
 Gesichtsempfindung 336  
 Gestaltabweichung 247  
 Gewährleistung 19  
 Gewicht, spezifisches 201  
 Gewichtsfunktion 537  
 Gewichtskraft 243, 245  
 Gitter 274  
 Glaselektrode 307  
 Glasfaser 146  
 Gleichheitsverfahren 359  
 Gleichrichter 407  
 Gleichrichterkennlinie 421  
 Gleichrichtung 406  
 –, phasenempfindliche 410  
 Gleichrichtwert 58, 90 f.  
 Gleichspannung 53  
 –, Messung 87  
 Gleichspannungs-Mittelwert 410  
 Gleichspannungsverstärkung 431

- Gleichstrom 53  
–, Messung 87  
–, Quotient zweier 89  
Gleichtakt-Eingangsspannung 419  
Gleichtaktsignal 397  
Gleichtaktunterdrückung 397, 401 f.,  
408  
Gleichtaktverstärkung 397, 402  
Gleichung von Bernoulli 170  
Gleichungssystem, lineares 545  
Gleichwert 58  
Global Positioning System 255  
Goniofotometer 353, 356  
GPIB 511  
GPS 255  
Graduieren 17  
Grafikadapter 523  
Grafikauflösung 522 f.  
grafische Darstellung 551  
Grafitrohrtechnik 276  
Graufilter 349  
Gray 326  
Gray-Code 223, 445  
Grenzdaten 21  
Grenzentfernung, fotometrische 356  
Grenzfläche 217, 226  
Grenzflächenspannung 217  
Grenzfrequenz 48, 399, 402, 431, 433  
Grenzstandsüberwachung 190, 194  
– mit Lichtschranken und Glasfasern  
197  
– mit vibrierendem Aufnehmer 200  
Grenzverfahren 372  
Grenzwinkel 283  
Grobwaage 243  
Größe 24  
–, lichttechnische 337  
–, strahlungsphysikalische 336 f.  
Größenart 37  
Größenkriterium 311  
Größenspektrum 321  
Großsignalbandbreite 403  
Grundfunktion 35  
Grundgesamtheit 324 f., 552, 582  
Grundgesetz, fotometrisches 348  
Grundschaltelement 60  
Grundschialtung, sequentielle 451  
Grundschwingung 411  
Grundstromkreis 54  
Grundstruktur 30  
Grundverknüpfung 438, 440  
Guide to the Expression of Uncertainty  
in Measurement (GUM) 571  
GUM 571, 573, 588 f.  
Güte 553 ff., 557, 564
- ## H
- Haar 301  
Haarhygrometer 301  
Halbbrücke 236  
Halbleiter-Dehnungsmessstreifen 235  
Halbleiterdetektor 152  
Halbleiter-Dosimeter 334  
Halbleiter-Strahlungsdetektor 329  
Halbleitertechnik 161  
Hall-Element 229, 261  
Hall-Geber 260  
Hallraumverfahren 377 f.  
Hall-Spannung 229  
Haltedrift 424  
Haltekapazität 423  
Handelswaage 243  
Handshake 528  
Hardwaresicherung 471  
Harmonische 57, 128  
harmonische Analyse 128  
Härtemessung 249  
Häufigkeit, absolute 559  
–, relative 559  
–, relative, normiert auf die Klassen-  
breite 559  
Häufigkeitsmerkmal 311  
Heißleiter 140, 394  
Heizwert, spezifischer 287  
–, spezifischer, bei festen oder flüssigen  
Brennstoffen 286  
–, spezifischer, bei gasförmigen Bren-  
stoffen 286  
Hellempfindlichkeitsgrad, spektraler  
337 f.  
Helmholtz-Gleichung 381  
Helmholtzsche Integralgleichung 381  
Herstellungsverfahren 372  
Hexadezimalziffer 518  
Hilfsfunktion 35  
Hilfsregister 474  
Histogramm 311, 558 f.  
Hitzdrahtanemometer 187



- Hitzdrahtmesswerk 31  
 Hitzdrahtsauerstoffsensoren 292  
 Hochfrequenzfeld 270  
 Hochspannungsmesstechnik 109  
 Höhenstandsmesssystem 190  
 Hologrammebene 381  
 Hornantenne 198  
 Horner-Schema 544, 546  
 Hörvergleich 371  
 H-Pegel 420, 423, 426, 434  
 HP-IB 511  
 Hubgewichtswaage 243  
 Hybride Technik 501  
 Hypothese 565  
 Hysterese 157, 420 f.
- I**
- Identifizierung 330  
 IEC-Bus-Schnittstelle 528  
 IEEE-488 511, 513  
 Impedanzwandler 398 f., 402, 405  
 Implikation 437  
 Impulsdauer 65  
 Impulsfunktion 537  
 Impulsgeber, induktiver 259  
 Impulshöhenanalyse 272, 330  
 Impulshöhenspektrometer 313, 322  
 Impulsrate 495  
 Impulsscheibe 258  
 Induktionsmesswerk 97  
 Induktivität 60 f., 96, 107, 117, 220  
 Induktivitätsbestimmung 118  
 Induktivitätsmessbrücke 118  
 Induktivitätsmessgerät, digitales 118  
 Induktivitätsmessung, mit phasenempfindlichem Gleichrichter 118  
 Induktivitätsnormal 107, 118  
 Informationskette 34  
 Informationsparameter 38  
 Informationsverarbeitung 38  
 Informationsverlust 532  
 Infrarot 336  
 Infrarot-Absorptionsspektroskopie 278  
 Infrarothygrometer 304  
 Infrarot-Spektroskopie 278  
 InGaAs-Sensor 344  
 Injektionslogik, integrierte (I<sup>2</sup>L) 462  
 Inkrement 24, 222  
 Innenwiderstand, des Messgerätes 109  
 Instrumentationsverstärker 401  
 Integrationsfehler 417  
 Integrationskapazität 405  
 Integrationskondensator 494  
 Integrationszeit 494  
 Integrator 492  
 Integratorausgangsspannung 492  
 Integrierer 404 f., 416 f., 423, 432  
 –, SC- 432  
 Integrierglied 409  
 Integriertes Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Umweltra dioaktivität 335  
 Intelligente Sensorik 499  
 Intensität 326  
 Interbus 513  
 Interface-Baustein 528  
 Interferenzrefraktometer 284  
 Interferenzrefraktometrie 284  
 Interferenzstreifen 224, 249  
 Interferenzstreifenmuster 284  
 Interferogramm 279  
 Interferometer 224  
 interferometrische Ebenheits- und Formprüfung 248  
 Internationale Meterkonvention 26  
 Internationales Einheitensystem 26, 49  
 Interrupt 482  
 Interruptanforderung 474  
 Interrupteingang 482  
 Interrupt-Serviceroutine 474  
 Intervall 556, 559  
 Inverter 405, 409, 414, 432  
 I/O-Mapping 479  
 Ionenquelle 268  
 ionensensitive Schicht 308  
 Ionisationskammer 327  
 Ionisationskammer-Dosimeter 334  
 Ionisations-Rauchmelder 327  
 I/O-Port 481  
 IR, fernes 336  
 –, mittleres 336  
 –, nahes 336  
 IR-Gitterspektroskop 279  
 IRRAS 280  
 ISA-Bus 523  
 ISFET 308  
 Isophone 364, 373  
 Istdaten 21



- Iteration 393  
*I-U*-Wandlung 405  
*I*-Verhalten 416 f.
- J**  
Jacobimatrix 598  
*JK*-Flipflop, flankengesteuertes 454  
–, zweiflankengesteuertes 455  
–, zweizustandsgesteuertes 455  
Justieren 17, 107
- K**  
Kalibrator 369  
Kalibrieren 17  
Kalibrierfehlergrenze 598  
Kalibriernormal 532, 539, 545  
Kalibrierschein 589  
Kalibrierung 369, 393, 540, 593 f.  
Kalorimeter, kontinuierliches 288  
–, nasses 288  
–, trockenes 288  
Kalorimetrie 286  
Kaltleiter 142  
Kanalelektronenvervielfacher 343  
Kanalwiderstand 425  
Kapazität 60 f., 107, 119, 221, 431  
Kapazitätsdiode 408  
Kapazitätsmessgerät, digitales 119  
Kapazitätsmessung 119  
Kapazitätsnormal 107  
Kapillarviskosimeter 215  
Kapselfedermanometer 155  
Karmansche Wirbelstraße 178  
Karnaugh-Veitch-Diagramm 444  
Keimtötung 309  
Kennfunktion 44  
Kenngröße 106  
Kennlinie 561  
–, statische 45  
Kennlinienkorrektur 235, 273, 540  
Kennwert 44  
Keramikstab, indirekt geheizter 279  
Kettenschaltung 31  
Kettenstruktur 384  
*k*-Faktor 233, 235  
Kippstufe, astabile 252  
–, bistabile 452  
–, monostabile 252, 452  
Kippzähler 174  
Klasse 559 f.  
Klassenbreite 559  
Klassengenauigkeit 555  
Klassenzahl 559  
Klirrfaktor 59, 127, 387  
koaxialer Vertikaleingang 82  
Koaxialkabel 388  
Koaxialshunt 108  
Kohlenwasserstoff 290  
Koinzidenz 314  
–, primäre 314  
–, sekundäre 314  
Kolbenmanometer 154  
Kolorimetrie 275  
kolorimetrische Methode 308  
kombinierte Messunsicherheit 574  
kombinierte Standardunsicherheit 575, 584, 593, 595  
kombinierte Varianz 574, 583, 587, 590, 593, 597 f.  
kommutative Gesetze 438  
Kommutierung 410  
Komparator 419, 489, 491 f., 495  
Kompensation 121, 391, 400  
–, doppelte 121 f.  
Kompensationsdose 136  
Kompensationsmethode 23, 114  
Kompensationsverfahren 158  
Kondensator-Konstantstromladung 253  
Kondensatormikrofon 368  
Konduktometrie 305  
Konjunktion 437  
Konstante, additive 534  
–, multiplikative 534  
Konstantstromquelle 253  
Konstanttemperaturverfahren 187  
Konstanzverfahren 372 f.  
Kontaktübergangswiderstand 594  
kontinuierlich 38, 203, 205  
Kontinuitätsgleichung 170  
Kontrollvariable 562  
Konzentration 19, 309, 314  
Konzentrationsmessergebnis 261  
Konzentrationsmesstechnik 261  
Konzentrationsmessung 312  
Koordinatenmesstechnik 219  
Koppelstelle 35  
Kopplung, kapazitive 404  
–, optoelektronische 403  
Korrektur 589

- Korrekturfunktion 541 f.  
 Korrekturkonstante 542  
 Korrekturnetzwerk 446  
 Korrekturrechnung 35  
 Korrekturwert 589  
 Korrelation 585  
 Korrelationskoeffizient 584  
 –, empirischer 558  
 Korrelationsverfahren 182  
 korrelierte Eingangsdaten 583  
 Kosinusanpassung 347  
 Kovarianz 584 ff., 598  
 –, empirische 558  
 –, geschätzte 586  
 Kovarianzmatrix 598  
 Kraft 29, 159, 236, 239 f.  
 Kraftaufnehmer, piezoelektrischer 237  
 Kraftkompensationswägezelle, elektro-  
 dynamische 243  
 Kraftmessaufnehmer, DMS- 239  
 –, induktiver 239  
 –, kapazitiver 239  
 –, magnetoelastischer 238 f.  
 Kreisfrequenz 56  
 –, diskrete 132  
 Kreisstruktur 33, 385  
 Kreuzspulmesswerk, mit Permanentma-  
 gnet 89  
 Kreuztisch 226  
 Kugelfallviskosimeter 216  
 Kugelfotometer 353  
 Kühlgrenztemperatur 298  
 Künstliche Intelligenz 569  
 künstliches neuronales Netz 570  
 Kurzschlussstrombetrieb 341  
 KV-Diagramm 444  
 kybernetische Betrachtungsweise 32  
 kybernetisches System 32
- L**
- Labormesstechnik 18  
 Laborprobe 325  
 Laborteiler 324 f.  
 Ladung 405 f.  
 Ladungsbilanzverfahren 495  
 Ladungsmengenkompensation 496  
 Ladungsmessung 404  
 Ladungsverstärker 150, 404  
 Lagedetektor 223  
 Lambda-Sonde 295  
 Lambert-Beersches Gesetz 263  
 Länge 218  
 Längenmesssystem, codiertes 223  
 –, inkrementales 222  
 Längenmesstechnik 20, 219  
 Längenmessung 226  
 Längseffekt 237  
 Langwellensender DCF77 254  
 Langzeitstabilität 596  
 Laserbeugungsspektrometrie 317  
 Laserdoppleranemometrie 318  
 Laser-Doppler-Verfahren 189  
 Laserdrucker 526  
 Laserinterferometer 197, 224  
 Laser-Laufzeitverfahren für die Füll-  
 standsmessung 198  
 Laserstrahl 316  
 Last, schwimmende 403  
 Lastfaktor 460  
 Lateraleffektdiode 228, 345  
 Laufgewichtswaage 243  
 Laufzeit 536  
 Laufzeitverfahren 181, 196  
 Lautheit 371, 374, 376  
 Lautstärkepegel 371, 374, 376  
 –, interpolierter 373  
 –, Kurve gleichen 364, 373  
 LCD-Anzeige 518  
 LCD-Technik 524  
 LC-Oszillator 253  
 LED 520  
 LED-Anzeige 516  
 LED-Drucker 526  
 LED-Punktmatrix 519  
 Lehren 17  
 Leistung 66, 95, 123, 619  
 Leistungsanpassung 387  
 Leistungsfaktor 71, 126  
 Leistungsfaktormesser, elektromechni-  
 scher 126  
 –, elektronischer 126  
 Leistungsmesser, elektronischer 95, 97,  
 123  
 Leistungsmessung 123  
 Leistungsmesszange 123  
 Leistungsverstärkung 389  
 Leitfähigkeit, elektrische 194  
 –, spezifische 305

- Leitfähigkeitssensor, kontaktbehafteter 305  
–, kontaktloser 305  
Leitsystem 35  
Leitwerthygrometer 304  
Leuchtband-Anzeige 517  
Leuchtdichte 337, 351  
Leuchtdichtemesser 352  
Leuchtdichtestoffkennzahl 361  
Leuchtenwender 356  
Licht 336  
Lichtausstrahlung, spezifische 337  
Lichtfalle 316  
Lichtmenge 337  
Lichtschnittverfahren 224, 249  
Lichtschranke 228  
Lichtschwächung 313, 348  
Lichtstärke 337, 354  
Lichtstärkemessung 355  
Lichtstärkeverteilung 352, 355  
Lichtstärkeverteilungskörper 355  
Lichtstärkeverteilungskurven 355  
Lichtstrom 337 f., 352  
Lichtwellenleiterverbindung 514  
LiCl-Hygrometer 298  
Linearisierung 33, 543  
Linearität 406, 594 f.  
Linearitätseigenschaft 495  
Linearitätsfehler 351  
Linie 504 f.  
Liniendiagramm 561  
Lithiumchlorid 298  
Lochmaske 521  
Lochmaskenröhre 521  
Logarithmierer 414  
Logik, BICMOS- 462  
–, GaAs-MESFET- 462  
–, gemischte 435  
–, Interrupt 474  
–, negative 434  
–, positive 434  
–, programmierbare 468  
–, Transistor-Transistor- 462  
–, zweistufige 442  
Logikanalysator 483  
Logikanalyse 482  
Logikblock 471  
Logikimpulsgeber 482  
Logikpegel 433, 529  
Logikprüfer 482  
Logikvereinbarung 434  
–, einheitliche 435  
Logikzustand 433  
Logische Verknüpfung 437  
Logistik 19  
Lorentz-Kraft 229  
Lotverfahren, elektromechanisches 191  
Low-Power-Schottky-TTL 462  
L-Pegel 419 f., 423, 426, 434  
LSB 488  
Luftstrahlsieb 312  
Luftzahl 296  
Luftzahl  $\lambda$  295  
Lumen 338  
Lumineszenzdiode 517  
Lumineszenzthermometer 146  
Lux 337  
Luxmeter 349, 354  
Lux'sche Gaswaage 209
- M**  
Magnetfeld 293  
Magnetfeld-Massenspektrometer 268  
magnetoelastischer Effekt 238, 246  
magnetomechanisches, Gerät 293  
magnetopneumatisches, Gerät 294  
Makrocell Array 467  
Makrozelle 469  
MAK-Werte 19  
Mantelthermoelement 136  
Maschenweite 312  
Maßeinheit, angelsächsische 27  
Masse 236, 239, 243, 245  
Massendurchfluss 169  
Massendurchflussmessung, nach dem Coriolis-Prinzip 185  
Massenfluss 169  
Massenhäufigkeit 311  
Massenspektroskopie 268  
Massenstrom 169  
Maßsystem, lichttechnisches 336  
–, strahlungsphysikalisches 336  
Master 503  
Maßverkörperung 27, 540  
Maßzahl 18  
Material, ferroelektrische 142  
Materialfehler 226  
Matrixdrucker 525

- Maximalfehler, des Gesamtergebnisses 550
- Maxterm 439
- Maxwell-Brücke 118
- Maxwell-Wien-Brücke 119 f.
- Mealy-Verhalten 451
- Mehrbereichsverfahren 358
- Mehrfachmessung 324
- Membrankondensator 281
- Memory Mapping 479
- Merkmal 25, 37
- Messabweichung 572
  - bei analogen Messwerken 106
  - bei digitalen Messgeräten 106
  - , systematische 588
  - , zufällige 588
- Messaufgabe 22
- Messbehälter 174
- Messbereich 45, 106, 543, 550, 592
- Messbereichsendwert 555
- Messbereichsumfang 224, 555
- Messbrücke 115, 119 f.
  - nach Maxwell-Wien 118
- Messdynamik 46
- Messeinrichtung 540
  - , analoge 383
  - , Ultraschall- 51
- Messelektronik, digitale 433
- Messen 17 f.
- Messergebnis 23, 531, 593
  - , korrigiertes 540
  - , unkorrigiertes 540
- Messergebnisse 551
- Messfehler 106, 531, 572
- Messfläche 381
- Messgegenstand 22
- Messgenauigkeit 550
- Messgerät 73, 503
- Messgerätebus 511
- Messgleichrichter 421
- Messgröße 22, 531, 574, 592
- Messgrößenwandlung 27, 30
- Messhülse 219
- Messkabel 388
- Messkette 516
- Messmethode 23
- Messmikrofon 368
- Messmikroskop 226
- Messmittel 23
- Messnormal 18
- Messobjekt 22, 551, 554
- Messpersonal 22
- Messplatz 104
- Messprinzip 24
- Messreihe 24, 551, 553
- Messschieber 219
- Messschwelle 45
- Messsignal, analoges 532
- Messspindel 219
- Messstellenumschalter 594
- Messsystem, ideales 531
- Messtechnik, angewandte 18
  - , elektrische 20
  - , industrielle 20
- Messtrommel 219
- Messumformer 112
- Messung, direkte 24
  - elektrischer Größen 30
  - , indirekte 24
  - , inkrementale 24
  - , in-line- 38
  - , Resultat der 589
- Messunsicherheit 556, 571, 573, 589
  - , erweiterte 582 f., 589, 593, 595, 597
  - , kombinierte 574
  - , relative 592
- Messunsicherheitsabschätzung 595
- Messverfahren 24
- Messverstärker 391, 393, 396
- Messvorgang 28
- Messwandler, konventioneller 110
- Messwerk 73, 106
  - , elektrodynamisches 93, 95
  - , elektrostatisches 94
- Messwert 540, 545, 553 f., 592
  - , unkorrigierter 545
- Messwertverteilung 576
- Messwesen 24
- Messwiderstand 108
- Messzeit 406
- Messzubehör 107
- Metall-Dehnungsmessstreifen 234
- Metallkalorimeter 288
- Meter 218
- Methode der effektiven Freiheitsgrade 590
- Methode der kleinsten Quadrate (MKQ) 563

- Michelson-Interferometer 279  
Mikrocomputer 471  
–, Einchip- 479  
Mikrocontroller 479, 499  
–, 8-Bit- 480  
Mikrofonarray 381  
Mikrointerferometer 249  
Mikrometerschraube 219  
Mikroprozessor 473  
–, 8-Bit- 473  
Mikroskopanalyse 313  
Mikrostreufeldkondensator 300  
Mikroströmungsfühler 281  
Mikrosystem 503  
Mikrosystemtechnik 51  
Mikrowellenhygrometer 304  
Miller-Integrator 416  
Minimalform, disjunktive (DMF) 442, 469  
–, konjunktive (KMF) 442  
Minimierungsverfahren 444  
Minterm 439  
Mitkopplung 386 f., 401, 420  
Mittleuropäische Sommerzeit MESZ 251  
Mittleuropäische Zeit MEZ 251  
Mittelungspegel 368  
Mittelwert 96, 552, 555, 572, 575, 582, 592  
–, arithmetischer 573, 576 f., 580, 583  
– Einzelmessung 540  
–, mittlere Fehler 555  
Mittenrauhwert 247  
MKQ-Schätzungen 563  
Modellfunktion 598  
Modellgleichung 574, 589, 591  
Modellierung 19  
Modulation 40, 409  
Modulationsart 37  
Modulationsverstärker 407 f.  
Modulator 406  
Modulo-*m*-Zähler 456  
Modulo-10-Zähler 456  
Moiréstreifentechnik 222  
Moment 29, 240  
Momentbegrenzer 219  
Monitor-Bildröhre 520  
Monochromatisierung 279  
Monochromator 274 f., 279  
Monoflop 452  
Monolithische Technik 501  
Moore-Verhalten 451  
MOSFET 425, 432  
MOS-Logik 462  
Motorkompensator 121 f.  
Motorzähler 97, 99  
MSB 488  
Multifrequenzmonitor 522  
Multi-Master-/Multi-Slave-System 510  
Multiplexer 448  
–, 4-zu-1- 448  
Multiplikation 410  
Multiplizierer 409, 411, 413 f.  
**N**  
Nachhallzeit 378  
Nachlauf-A/D-Umsetzer 491  
Nadeldrucker 525  
Nahbus 504  
Nahfeld-Holografie, akustische 377, 380  
NAND 437  
Naßsiebanalyse 312  
Naturkonstante 575  
NDIR-Absorptionsmessgerät 280  
NDIR-Spektroskopie 279 f.  
Negation 434, 437  
Negationskreis 434, 436  
negierte DMF 443  
Neigungswaage 243  
Nenndaten 21  
Nennleistung 111  
Nennübersetzungsverhältnis 111 f.  
Nernst'sche Gleichung 295  
Nernst-Strahler 279  
Netz 504  
–, offenes 506  
Netzgerät, stabilisiertes 54  
Netzspannung 494  
Netzwerk 505  
Neutron 303  
Neutronen-Feuchtesensor 303  
Neutronenflussmessung 331  
newtonsche Flüssigkeit 212  
Newtonsches Interpolationsverfahren 545  
Nichtinverter 409  
nichtoptische Verfahren 229

- Niederschlagsmessung 312  
 NIRS 280  
 NMOS 462  
 NMR 270  
 NMR-Spektroskopie 270  
 Nonius 219  
 NOR 437  
 Normal 107, 585  
 Normalform, disjunktive (DNF) 439  
 – einer logischen Gleichung 439  
 –, konjunktive (KNF) 439 f.  
 Normalverteilung 551, 554, 576 f., 579, 582, 590  
 –, Gauß'sche 577  
 Normblende 172  
 Normdruck 201  
 Normierung 47  
 Normlichtart 362  
 Normlichtart A, C 362  
 Normlichtart D 65 362  
 Normtemperatur 201  
 npn-Transistor 414  
 Nullindikator 115, 119  
 Nullpunkt 43, 534  
 –, lebender 43  
 –, toter 43  
 Nullpunktfehler 392 f., 397, 406  
 Nullpunktunterdrückung 140  
 Nutzsignal 36
- O**
- Oberfläche 217  
 Oberflächenbestimmung, aufgrund des Strömungswiderstandes 323  
 – durch Adsorption gelöster Stoffe 323  
 – durch Gasadsorption 323  
 – mit Hilfe der Benetzungswärme 323  
 Oberflächenbestimmungsverfahren 323  
 Oberflächeneigenschaft 247  
 Oberflächenhäufigkeit 311  
 Oberflächenspannung 217  
 Oberflächentemperatur 147  
 Oberflächentopografie 249  
 Oberflächenwelle 167  
 Oberflächenwellensensor 247  
 Oberschwingung 411  
 Oberwellenquarz 254  
 Objektschall 371  
 ODER 437  
 ODER-Array 469  
 ODER-Feld 468  
 Offset 392 f., 406, 488, 534  
 Offsetabgleich 393, 400  
 Offsetfehler 423  
 Offsetkompensation 397, 400  
 Offsetkorrektur 393  
 Offsetspannung 424  
 ohmscher Teiler 109  
 ohmsches Gesetz 60  
 ohmsch-kapazitiver Teiler 108  
 Open-Collektor-Ausgang 465  
 Operandenregister 474  
 Operationsverstärker 390, 393, 396, 403, 405, 409, 428  
 Optik, physikalische 338  
 Optokoppler 404  
 Optosensor 341  
 OR Array 468  
 Originalraum 40  
 OSI-Schichtenmodell 505 f.  
 Oszillator 387, 404  
 Oszilloskop 82, 89, 100, 109  
 –, digitales 84  
 Ovalradzähler 174  
 Oxidationsmittel 309  
 Oxidationsvermögen 309
- P**
- Paarbildung 326  
 PAL 468  
 Parallel-A/D-Umsetzer 489  
 Parallelfeldkondensator 301  
 Parallelstruktur 33, 385  
 Parameter, dynamischer 539  
 –, statischer 539  
 Parameterwandlung 21  
 Paritätsbit 510  
 Partialdruck 295  
 Partialfilterung 347  
 Particle Image Velocimetry 318  
 Partikelgeschwindigkeit 310  
 Partikelgrößenspektrum 311  
 Partikelgrößenverteilung 310  
 Partikelkonzentration 310  
 Partikelmesstechnik 310  
 Passiv-Matrix-Display 524  
 PCI-Bus 523  
 Peakdetektor 272

- Pegeladdition 366  
Pegelbereich 434  
Pegelmittelwert 368  
Pegelwandler 423, 425  
Pellistor 290  
Peltierelement 300  
Periodendauer 56, 97  
Periodendauermessung 101  
Permittivitätszahl 192, 301  
PFT-Verfahren 271  
Phasendrehung 399, 401  
Phasempfindliche Gleichrichtung 409  
Phasengang 537 f.  
Phasenindikator 411  
Phasenkennlinie 538  
Phasenspektrum 132  
Phasenverschiebung 97, 409 f.  
Phasenwinkel 56 f., 101, 126, 411  
phon 371, 374  
Phosphatglas-Dosimeter 335  
Phosphoreszenz 346  
Phosphorpentoxid 299  
Photonenkorrelationspektroskop 318  
pH-Wert-Sensor 306  
physikalischer Effekt 28 f.  
Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) 26  
piezoelektrischer Effekt 226, 237 f.  
–, reziproker 238  
piezoresistiver Effekt 235  
Pipette-Verfahren 319  
Pirani-Manometer 168  
Pistonfon 369  
PIV 318  
–, 3D- 318  
–, Hochgeschwindigkeits- 318  
–, Mehrebenen- 318  
–, Stereo- 318  
Pixel 225, 520  
Pixelfrequenz 522  
Planckscher Strahler 357  
Platin-Dünnschichtwiderstand 189  
Plattenaufnehmer 218  
Plattenfedermanometer 156  
Plattenkondensator 163  
PLD 469  
pn-Übergang 144  
Poissonsche Zahl 233 f.  
Poisson-Verteilung 552  
Polarimeter 285  
Polarimetrie 285  
Polarisation 149  
Polarisationsebene 285  
Polarisationsfilter 285, 349  
Polaritätsindikator 435 f.  
Polarographie 309  
Poldi-Hammer 249  
Polyamidfolie 301  
Polynom 544  
Polynominterpolation 544  
Population 552  
Positionsbestimmung 228  
Positionsmessung, induktive 191  
Post-trigger 484  
Potentiometrie 306  
Prandtl-Staurohr 172  
Präzessionsbewegung 270  
Präzisionsflüssigkeitsstandmessung 190  
Präzisions-Frequenzmesser 126  
Präzisionsgleichrichter 409  
Präzisionswaage 243  
Pre-trigger 484  
Primärnormal 107  
Primärstrahlung 272  
Prisma 274  
Probe 41  
Probengeber 267  
Probennahme 324 f.  
Probensatz 42  
Probenteilung 324 f.  
Produktanalyse 19  
Produkthaftung 19  
Produktmessung 21 f.  
Profibus DP 513  
Profibus PA 513  
PROFIBUS-Protokoll 510  
Profilometer 248  
Programmspeicher 481  
Programmzähler 473  
PROM (Programmable ROM) 478  
Proportionalzählrohr 272, 331  
Prozessanalyse 19  
Prozessmesstechnik 20  
Prozessmessung 21 f.  
Prozessrechner 528  
Prozessrefraktometer 283 f.



- Prozesssteuerung 19  
Prüfen 17  
–, maßliches 17  
–, nichtmaßliches 17  
Prüfgröße 566  
Prüfung 21  
pseudoplastische Flüssigkeit 212  
Psychrometer 297  
psychrometrische Differenz 297  
PTB 251  
Pufferlösung 307  
Puls-Amplituden-Modulation 406  
Pulsmodulationsverfahren 422  
Pulsträger 406  
Pyrometer 152
- Q**  
Quad Switch 426  
Quadrantenanordnung 341  
Quadrantensensor 229  
Quadrierer 414  
Quadrupol-Massenspektrometer 268,  
270  
Quadrupolstab 270  
Qualität 551  
Qualitätssicherung 19  
Qualitätsüberwachung 19 f.  
Quantifizierung 21  
Quantisierung 40, 488  
Quantisierungsfehler 488, 532 f.  
Quantisierungsschritt 488  
Quarz 245  
Quarzkeilpolarimeter 286  
Quarzoszillator 254  
Quarztemperatursensor 145  
Quelle 34  
Quellenspannung 54, 107  
Quellschicht 302  
Querankeraufnehmer 220  
Quereffekt 237  
Quotientenpyrometer 153
- R**  
Rad 326  
Radizierer 414  
RAM 442  
–, dynamisches (DRAM) 477  
–, statisches (SRAM) 476  
RAM (Random Access Memory) 474  
Raman-Effekt 278  
Raman-Spektroskopie 278  
Rampen-A/D-Umsetzer 492  
Rampenfunktion 537  
Rampenverfahren 492  
Rampenverteilung 596  
Rasterbildschirm 520  
Rauheit 247  
Rauhtiefe 247  
Raumbeleuchtungsstärke 347, 351  
Rauschanpassung 389 f.  
Rauschbandbreite 389  
Rauschen 433  
Rauschleistung 389  
Rauschzahl 389, 396  
RBW-Faktor 326  
RC-Schaltung 252  
Reaktionswärme 289  
Recheneinheit 413  
Rechenglied 385  
Rechner 35  
Rechnerbus 504  
Rechnerkopplung 485  
Rechteckfenster 131  
Rechteckgenerator 109  
Rechteckverteilung 580 f., 589, 592  
Redoxpotential 309  
Redoxpotentialsensor 309  
Reduktionsmittel 309  
Reduktionsvermögen 309  
Redundanz 510  
Referenzdiode 404  
Referenz-DMS 237  
Referenzdruck 153  
Referenznormal 107  
Referenzoszillator 256  
Referenzsignal 409  
Referenzspannung 394, 404, 411, 493,  
495  
Referenzstrom 415  
Reflexion 264, 389  
–, diffuse 264  
Reflexionsgesetz 264  
Reflexionsgrad 361  
–, diffuser 361  
Reflexlichtschranke 228  
Reflexlicht-Verfahren 259  
Refraktometer 283  
Refraktometrie 282  
Refresh-Zyklus 477



- Regelkreis 385 f.  
Regenerieren 302  
Register 458  
–, 8-Bit-D- 458  
Registerfeld 474  
Registriereinrichtung 269  
Regler 35  
Regression, einfache lineare 562  
–, mehrfache lineare 564  
Regressionsgerade, empirische 563  
Regressionskoeffizient 562, 564  
Regressionskonstante 562, 564  
Regressionsmodell, polynomiales 565  
Regressionsrechnung 561  
Reihenstruktur 32  
Relativbewegungsaufnehmer 240  
relative Messunsicherheit 592  
relative Unsicherheit 593  
relative Varianz 595 f.  
Rem 326  
Repräsentativitätsfehler 324  
Reset 456  
Residuum 562  
Resolver 260  
Resonanz 263  
Resonanzfrequenzdruckaufnehmer 166  
Resonanzmessmethode 207  
Resonanzmethode 226  
Restfehler, absoluter digitaler 534  
–, absoluter relativer digitaler 534  
–, digitaler 532 f.  
Restfehlerwahrscheinlichkeit 510  
Richtspannung 409, 411  
Ring 504 f.  
Ringaufnehmer 217  
Ringkammersauerstoffsensor 291  
Ringkolbenzähler 174  
Ringmodulator 409  
Ringrohrmanometer 158  
Ringrohrwinkel­aufnehmer 227  
Ringsensor 317  
Ringtorsionswägezelle für Höchstlasten 245  
Ringzähler 460  
–, 5-Bit- 459  
Rockwell-Verfahren 249  
ROM (Read Only Memory) 442, 478  
Röntgenfluoreszenz 250  
Röntgenfluoreszenzanalyse 271  
Röntgenstrahlen 274  
Röntgenstrahlung, charakteristische 273  
Rosemount 164  
Rotationsviskosimeter 215  
Routing-Kanal 471  
RS232C 506  
RS422 507  
RS485 508  
RS-Flipflop 452  
–, flankengesteuertes 453  
–, ungetaktetes 452  
–, zustandsgesteuertes 453  
Rückkopplung 385 f.  
Rückkopplungsfaktor 386  
Rückkopplungsmethode, quantifizierte 495  
Rücksetzart 456  
Ruhestromkompensation 418  
Rütteltisch 312
- S**  
Sägezahngenerator 83  
Sägezahnspannung 492  
Salz 305  
sample 41  
Sample&Hold 422, 486  
Sample&Hold-Schaltung 428  
Samplingtheorem 42  
Sättigung 419 f.  
Sättigungsdicke 274  
Sättigungskonzentration 296  
Sauerstoff 291, 294  
Sauerstoffion 295  
Scanning-Sedimentograf 320 f.  
Schadstoffemission 295  
Schallabsorptionsfläche, äquivalente 378  
Schalldruck 362, 377, 379, 382  
Schalldruckpegel 362, 366, 376 f.  
–, Addition 366  
–, bewerteter 364, 366  
–, Mittelwert 367  
Schalldruck-Zeit-Funktion 362  
Schallintensität 377, 382  
–, direkte Messung 377, 379  
Schallleistung 376 ff.  
Schallleistungspegel 363, 376 f.  
Schallpegelmesser 368

- Schallschnelle 379 f., 382  
Schaltalgebra 436  
Schalter-Kapazitäts-Filter 431  
Schaltfrequenz 431  
Schaltfunktion 441  
–, Minimieren 441  
Schaltkreisfamilie 460  
Schaltnetz 445  
Schaltschwelle 420  
Schaltung, kombinatorische 445  
–, sequentielle 451  
Schaltwerk 451  
–, asynchrones 452  
–, synchrones 452  
Schaltzeit 424, 427  
Schätzen 17  
Schätzung 552, 576  
Schätzwert 552, 555, 563, 565, 583, 585  
Scheinleistung 70, 95, 97  
Scheitelfaktor 59  
Scheitelwert 56  
Schereffekt 237  
Schergefälle 214  
Schering-Brücke 120  
scherzeitabhängig 214  
Schicht, ionensensitive 308  
Schichtdicke 250, 313  
Schichtdickenmessung 273  
Schichtwiderstand 139  
Schieberegister 458  
Schleifenverstärkung 403, 420  
Schleppmedium 266, 268  
Schleusenspannung 418  
Schlitzmaskenröhre 521  
Schmitt-Trigger 420  
Schnittstelle 34 f., 527  
–, serielle 481, 528  
Schnittstellenstandards, physikalische 506  
Schottky-TTL 462  
Schottky-Unterfamilie 460  
Schraubrad 174  
Schraubradzähler 174  
Schreib-/Lesespeicher 474  
Schwankungsbreite 554  
Schwebekörper-Durchflussmesser 176  
Schwebekörper-Durchflussmessung 175  
Schwebekörperviskosimeter 216  
Schwellspannung 418, 423  
Schwellwertschalter 420  
Schwimmer 190  
Schwingbeschleunigung 241  
Schwingfrequenz 239  
Schwinggabel-Betriebsdichteaufnehmer 211  
Schwinggeschwindigkeit 241  
Schwingkondensator 407 f.  
Schwingneigung 415 f.  
Schwingquarz 167, 254  
Schwingquarzdruckmessumformer 167  
Schwingquarzhygrometer 304  
Schwingsaitenaufnehmer 239  
Schwingsaiten-Drehmomentmessung 247  
Schwingsaitendruckaufnehmer 166  
Schwingsaitenwägezelle 245  
Schwingungsdichtemessmethode 207  
Schwingungsmessung 240  
Schwingungsviskosimeter 216  
Schwingweg 241  
Schwingwegmessung 241  
Sea of Gates 468  
16-Segment-Anzeige 519  
Sedimentation 319  
Sedimentationsverfahren 318  
Sedimentationswaage 320  
Sedimentationszentrifuge 321  
Sekundärelektronenvervielfacher 269, 343  
Sekundärstrahlung 272  
Selbsterregung 387  
selbsttemperaturkompensierende DMS 237  
Selektionsverhalten 429  
Selektivität 50  
Semicustom 467  
Sendebauelement 228  
Senke 34  
Sensitivität 50  
Sensor 22, 34, 391  
–, intelligenter 499  
–, ionenselektiver 308  
–, magnetoresistiver 231  
–, pyroelektrischer 152  
Sensorarray 500  
Sensortechnik 20

- Settling time 488  
SEV 344  
Shannonsches Gesetz 439  
Shunt 108  
SI-Basiseinheit 600  
SI-Einheit 609–614  
–, abgeleitete 601  
–, für physikalische Größen 609–614  
–, gesetzliche 603–608  
Sicherheit 552  
Sicherheitstechnik 19  
Siebanalyse 312  
7-Segment-Anzeige 516, 519  
7-Segment-LCD-Anzeige 519  
Siebung 406, 409  
Sievert 326  
Signal 36, 383  
–, analoges 383  
–, binäres 433  
–, determiniertes 37  
–, diskretes 433  
–, frequenzanaloges 40  
–, unbegrenzt periodisches 131  
–, zeitbegrenzt 131  
Signalart 396  
Signalfrequenz 432  
Signalgeber, optischer 258  
Signalgröße 383 f.  
Signalleistung 389  
Signalleitung 36  
Signalmerkmal 37 f.  
Signalname 436  
Signalraum 40  
Signal-Rausch-Leistungsverhältnis 389  
SignalSpeicherung 37  
Signal-Störabstand 433  
Signalträger 36  
Signalverarbeitung 428  
Signalverstärkung 34  
Signalwandlung 39  
Signifikanzniveau 566  
Signum 410  
Signum-Funktion 411  
Siliziumplanartechnologie 161  
Silizium-Sperrschicht-  
Temperatursensor 144  
Silizium-Widerstandstemperatursensor  
143  
Sing-Around-Verfahren 184  
Single Switch 426  
Sinusantwort 537  
Sinusfunktion 537  
Skalenmaß 251  
Slave 503  
Slew Rate 403, 422, 424, 488  
smart sensor 499  
Solarzelle 341  
Sollwert 23  
sone 374  
Spaltdecoder 476  
Spaltenleitung 476  
Spaltkammer 332  
Spaltsensor 228  
Spannung 96, 109, 121  
–, eingeprägte 44  
Spannungsabfall 54  
Spannungsausgleicher 136  
Spannungsfehler 111  
Spannungs-Frequenz-Wandlung 495  
Spannungsmessung 121  
Spannungsnorm 107  
–, elektronisches 107  
Spannungspfad 124  
spannungsrichtige Schaltung 115  
Spannungsteiler 108, 121  
Spannungsverlauf, impulsförmiger 65  
–, zufälliger 65  
Spannungsverstärkung 384, 386, 398 f.,  
408  
Spannungswandler 110 f., 121  
–, induktive 110  
Speicher, mit wahlfreiem Zugriff 442  
Speicherzelle 475  
Speicherzellenmatrix 475  
Spektralanalyse 270  
Spektralfotometer 152  
Spektralmaskenverfahren 347  
Spektralmessverfahren 358  
Spektralradiometer 358  
Spektrometer 358  
Spektrum 130, 272  
–, komplexes 130  
Sperrbetrieb 340 f.  
Sperrflüssigkeit 158  
Sperrschicht-FET 423  
Sperrwiderstand 424  
Spiegel, halbdurchlässiger 279  
Spitzenwert 56, 65, 89

- Spitzenwerterfassung 97  
Spitzenwertmesser 89  
Spline-Interpolation 547  
Splines, natürliche kubische 547  
spreading resistance sensor 143  
Sprungantwort 47, 536 f.  
Sprungfunktion 46, 537  
SRAM-Zelle 471  
Stabantenne 198  
Stabilisierung 387  
Standardabweichung 549, 552–557, 571, 577 f., 595  
–, empirische 553 f., 558  
–, mittlerer Fehler 557  
Standardschall 371  
Standard-TTL 462  
Standardunsicherheit 573, 578, 583, 589 f.  
–, kombinierte 575, 583 f., 593, 595  
statisches Verhalten 534  
Staubmessgerät 312  
Steilheit 393 f., 534, 541, 543  
Steilheitsmodulation 413  
Steilheitsmodulator 413  
Stern 504 f.  
Sternschaltung 63 f., 121  
stetige Verteilung 579  
Steuerbus 472  
Steuereinheit 83  
Steuerung 19 f.  
Stichprobe 552, 579 f., 582  
Stichprobenkontrolle 19  
Stichprobenvarianz 553, 563  
Stimmgabelschwinger 210  
Stirnzeit 65  
stochastisch 37 f.  
Stoff, dilatanter 214  
–, nichtnewtonscher 214  
–, pseudoplastischer 214  
–, rheopexer 214  
–, strukturviskoser 214  
–, thixotroper 214  
Stoffkennzahl, lichttechnische 360  
Stoffsystem, disperses 310  
Stokesscher Bereich 319  
Stoppuhr 458  
Störabstand 396  
Störbeeinflussung 31  
Störeinfluss 392  
Störglied 562  
Störgröße 391, 562  
Störgrößenunterdrückung 493  
Störmöglichkeit 38  
Störsicherheit 50  
Störsignal 36  
Störspannungsabstand 461  
–, dynamischer 462  
–, statischer 462  
Störstellenschöpfung 143  
Störunterdrückung 495  
Stoßantwort 537  
Strahldichte 337  
Strahlendosis 326  
Strahlenschutz 327  
Strahlstärke 337  
Strahlung 262  
–, absorbierte 275  
–, emittierte 275  
–, ionisierende 315  
Strahlungsdetektor 325  
Strahlungsemission 276  
Strahlungsempfänger 345  
–, breitbandiger 345  
–, pyroelektrischer 345  
–, thermoelektrischer 345  
Strahlungsfluss 337  
Strahlungsleistung 336 f.  
Strahlungsmenge 337  
Strahlungspyrometer 152  
Strahlungsthermometer 134, 152 f.  
Streifeldkondensator 301  
Streulicht 189, 315  
Streulichtspektrometer 315, 317  
Streulichtverfahren 248  
Streuung 313, 540, 553  
Stroboskop 261  
Strom 55, 96, 123  
–, eingepprägter 44  
Strommessung 123  
Strommesszange 94  
Strompfad 124  
Stromquelle 498  
stromrichtige Schaltung 115  
Strom-Spannungswandlung 404  
Stromstärke, elektrische 54  
Strömungsgeschwindigkeit 29  
Strömungswiderstandsgesetz 175  
Stromverdrängung 108

- Stromverlauf, impulsförmiger 65  
–, zufälliger 65  
Stromwandler 111, 123  
–, induktive 110  
Stromzange 123  
Strouhal-Zahl 179 f.  
Struktur 30  
Strukturanalyse 265  
Strukturuntersuchung 261  
Strukturzerlegung 31  
Studentfaktor 580, 591, 595  
Studentverteilung 579  
Stützstelle 540, 544 f.  
Subtrahierer 412  
Suchproblem 22  
Sukzessive-Approximation-A/D-  
Umsetzer 490  
Summenhäufigkeit 311, 560  
Summenterm 442  
Suspensionsverfahren 319  
Sychrongleichrichter 409  
Synchron-Demodulation 406  
Synchronisation 527 f.  
Synchronisationsverfahren 509  
Synchronzähler 456  
System, kybernetisches 32  
–, metrisches 26  
– mit Rückführung 32  
–, nichtmetrisches 25  
systematischer Fehler 571  
Szintillationsmesskopf 328  
Szintillationszähler 328
- T**  
Tachogenerator 261  
Takt 491  
Taktgenerator 491 f., 494  
Taktsteuerung 433  
Tastkopf 109, 390  
Tastplatte 190  
Tastschnittgerät, mechanisches 248  
Tastteiler 390  
Tauchankeraufnehmer 220  
Tauchkörper 199  
Tauchspule 244  
Tauchspulsystem 242  
Taupunkt 297  
Tauspiegelhygrometer 300  
Teilchenfluss 326  
Teilentladung 127  
Teilentladungsmesser 104  
Teilentladungsmessgerät 104  
Teilstrahlungspsyrometer 152  
Temperatur 29, 214, 239  
Temperaturabhängigkeit 392, 394, 415  
Temperaturdrift 396, 424  
Temperaturfeld, Störung 147  
Temperaturkoeffizient 307, 392, 394,  
416, 594, 596  
Temperaturkompensation 167, 394  
Temperaturmesstechnik 20  
Temperatursensor, pyroelektrischer 149  
Temperaturspannung 414 f.  
TEM-Welle 388  
Teslameter 103  
Test 565  
Testfunktion 535, 537  
Testgerät, automatisches 503  
Testproblem, einseitiges 566  
–, zweiseitiges 566  
*t*-Faktor 556  
*T*-Flipflop, flankengesteuertes 455  
Thermistor 141, 149  
Thermodrucker 526  
Thermoelement 134  
Thermokette 148, 152  
Thermolumineszenz-Dosimeter 335  
Thermosäule 148, 152  
Thermostat 136  
Thermosublimationsverfahren 526  
Thermotransferverfahren 526  
Thermoumformer, mit Drehspulmess-  
werk 93  
Thomson-Messbrücke 115 f.  
Three-State-Ausgang 465  
Tiefpass 48, 406  
–, idealer 48  
Timer 480  
–, 16-Bit- 481  
Tintenstrahldrucker 526  
Toleranzband 47, 536  
Toleranzklasse 580  
Toner 526  
Tor 533  
Torsion 246  
Tortengrafik 561  
totales Differenzial 233  
Totalreflexion 283

- Totzeit 536  
 Tracer 182  
 Track&Hold-Schaltung 487  
 Träger 409  
 Trägerfrequenzbrücke 409  
 Trägermedium 266 f.  
 Trägheit 535  
 Transimpedanzverstärker 403  
 Transistor 390  
 Transistor-Transistor-Logik 462  
 Transitfrequenz 398, 400, 408  
 Transkonduktanzverstärker 403  
 Transmission 262  
 Transmissionsgrad 361  
 Trapezverteilung 581  
 Trennsäule 266  
 Trennsystem 269  
 Trennverstärker 403  
 Triangulationsverfahren 223  
 Triggereingang 83  
 Triggereinheit 83, 85  
 Triggerung 483  
 Trockengehalt 297  
 Trockensiebanalyse 312  
 Trommelzähler 174  
 Trübungsmessung 314  
*t*-Test 567  
 – als einseitiges Problem 567  
 – als zweiseitiges Problem 567  
 TTL-Familie 460  
 TTL-kompatibel 460  
 TTL-Kompatibilität 423  
 TTL-Pegel 425  
 TTL-Schaltkreis 420  
 TTL-Technik 462  
 Turbinenzähler 174  
*t*-Verteilung 556, 579  
 Twyman-Green-Interferometer 248  
 Tyndallometer 316  
*t*-Zweistichprobentest 568
- U**
- Überdruck 154  
 Übergangsfunktion, dimensionslose 536  
 Überschichtungsverfahren 319  
 Überschwingen 416  
 Überschwingungen 544  
 Übersprechdämpfung 427  
 Übersteuerung 421, 423  
 Übertragung, serielle 508  
 Übertragungsfaktor 31, 45, 534  
 Übertragungsfehler 510  
 Übertragungsfunktion 46, 429, 432, 531, 538, 541  
 –, korrigierte 541  
 –, lineare 534  
 –, nichtlineare 535  
 –, unkorrigierte 541 f.  
 Übertragungskanal 34  
 Übertragungsrate 529  
 Überwachung 19  
 Ulbricht-Kugel 353  
 Ultraschall 226  
 Ultraschall-Durchflussmessung 182  
 Ultraschallmessverfahren 226  
 Ultraschallspektroskopie 323  
 Ultraschallwandler 226  
 Ultraschallwelle 323  
 Ultraschall-Werkstoffprüfung 227  
 Ultraviolett 336  
 Umkehrradierer 412  
 Umrechnung 615–618  
 Umsetzungsgeschwindigkeit 489, 491  
 Umweltschutz 19  
 UND 437  
 UND-Array 469  
 UND-Feld 468  
 Unifizierung 34  
 Universalfilter 433  
 Universalkompensation 401  
 Universalmessgerät 104  
 Universalzähler 126  
 Unsicherheit 556, 596  
 –, erweiterte 589  
 –, relative 593  
 Unsicherheitsmatrix 598  
 Unsicherheitsquelle 589, 594  
 Unterbrechung 474  
 Unterdruck 154  
 U-Rohrmanometer 158  
 USB-Schnittstelle 529  
 UV, fernes 336  
 –, mittleres 336  
 –, nahes 336  
 –, Vakuum- 336  
 UV-Absorption 267  
 UV-Sensor 346

**V**

- Vakuumdruckmessung 168  
 Varianz 553, 565, 572, 576 ff., 582, 584 f., 591 ff., 595, 598  
 – der Grundgesamtheit 578  
 – des Mittelwertes 576  
 –, empirische 553, 573, 578, 592  
 –, geschätzte 585  
 –, kombinierte 574, 583, 587, 590, 593, 597 f.  
 –, relative 595 f.  
 Varicap 407 f.  
 Venn-Diagramm 444  
 Venturidüse 172 f.  
 Verbraucher, dreiphasiger 63  
 –, einphasiger 63  
 Verdopplung 33  
 Verfahren, algorithmisches 444  
 Verformungskörper 235 f., 239, 244  
 Verfügbarkeit, zeitliche 37  
 Vergleich 35  
 Vergleichsgas 288  
 Vergleichsgröße 23  
 Vergleichsquellenverfahren 377, 379  
 Vergleichsspannung 490, 495  
 Vergleichsstelle 136  
 Vergleichszelle 292  
 Verhältnispyrometer 153  
 Verknüpfung, logische 474  
 –, „Wired“- 465  
 Verknüpfungszeichen 437  
 Verlässlichkeit 555  
 Verlaufslinienfilter 342  
 Verlustfaktor 119 f.  
 Verlustfaktormessbrücke 120  
 Verlustfaktormessung 119  
 Verlustwinkel 120  
 Verschiebespannung 420  
 Verstärker 384, 419, 423  
 Verstärkung 386, 399, 404, 534  
 Verstärkungsfaktor 384, 386, 397, 418  
 Versuchsfehler 562  
 Verteilung, Dreieck- 581  
 –, Rechteck- 580  
 –, stetige 579  
 –, Student- 579  
 –,  $t$ - 579  
 –, Trapez- 581  
 Verteilungsdichtefunktion 558 f.  
 Verteilungsfunktion 560, 580  
 Verteilungsnetze 19  
 Verteilungstemperatur 357  
 Verträglichkeit, elektromagnetische 388, 514  
 Vertrauensbereich 571 f., 580, 583  
 Vertrauensgrenze 556  
 Vertrauensintervall 564  
 Vertrauensniveau 555 ff.  
 Verweilzeit 267  
 Verzugszeit 536  
 VESA-Local-Bus 523  
 VGA 522  
 VHDL 467  
 VHSIC 467  
 Vibrationsmesswerk 100, 126  
 Vickers-Verfahren 249  
 Videoausgangskontroller 523  
 Videobandbreite 522  
 Vielfachmesser 87  
 Vierquadranten-Multiplizierer 413 f.  
 Viskosimeter, auf Basis der Verschiebung zweier konzentrischer Zylinder 216  
 Viskosität 205, 211 f.  
 –, scheinbare 214  
 VIS-Spektroskopie 274  
 V-Konus 172  
 $V(\lambda)$ -Anpassung 346 f.  
 $V(\lambda)$ -Empfänger 346  
 Volladdierer 449  
 Vollbrücke 236  
 Vollfilterung 347  
 Voltammetrie 309  
 Volumendurchfluss 169, 180  
 Volumenfluss 169  
 Volumenstrom 169  
 Volumenzähler 173  
 – mit beweglichen Messkammerwänden 174  
 – mit festen Messkammerwänden 174  
 – mit Messflügeln 174  
 Vorrangregel 437  
 Vorsatz 26, 600  
 Vorsatzzeichen 600  
 Vorwärts-Dezimalzähler 457  
 Vorwiderstand 96  
 Vorzeichenfunktion 410



**W**

- Wärmeleitfähigkeit 267  
Waage, mechanische 243  
Wägeverfahren-A/D-Umsetzer 490  
Wägezelle, hydraulische 245  
–, induktive 245  
–, interferenzoptische 245  
–, magnetoelastische 245  
wahrer Wert 572, 574, 576, 578 f., 583  
Wahrheitstabelle 440  
Wahrscheinlichkeit 552, 554, 557, 559, 565  
Wahrscheinlichkeitsverteilung 577, 579, 589  
wahrscheinlichster Wert 572  
Wandler, einpolig isolierter 111  
–, zweipolig isolierter 111  
Wandlungsprinzip 30  
Warenverkehr 19  
Wärmeausdehnungskoeffizient 237  
Wärmekapazität, spezifische 287  
Wärmeleitfähigkeitsmessung, zur Gas-  
konzentrationsbestimmung 288  
Wärmeleitverfahren 289  
Wärmestrahlung 148 f., 151  
Wärmetönung 289  
Wärmetönungsmessung 290  
Wasserdampf 301  
Wasserstoffionenaktivität 306  
Wasserstoffionenkonzentration 306  
Wasserzähler 174  
Wechselgröße 90  
–, sinusförmige 97  
Wechselspannung 56, 62  
Wechselspannungsmessung 121  
Wechselspannungsverstärker 406  
Wechselstrom 56, 62  
Wechselstrommessung 123  
Weg 28, 240  
Wegaufnehmer 232  
–, kapazitiver 222  
Wegmessverfahren 237  
Wehnelt-Zylinder 521  
Weißstandard 361  
Weiterverarbeitung 33  
Wellenanpassung 387 f.  
Wellenausbreitung 388  
Wellenlängenbereich 336  
Wellenwiderstand 388  
Wellenzahlspektrum 382  
Wellrohrfeder 155  
Weltzeit UTC, koordinierte 251  
Werkstoffprüfung, zerstörungsfreie 226  
Wert, wahrer 552, 572, 574, 576, 578 f., 583  
–, wahrscheinlichster 572  
Wertebereich 35  
Wertevorrat 37, 40  
Weston-Element 122  
Wheatstone-Messbrücke 115  
Wichte 201  
Widerstand 60, 115  
–, induktiver 61  
–, kapazitiver 61  
–, NTC- 141  
–, ohmscher 60  
–, PTC- 142  
Widerstandsbahn, piezoresistive 161  
Widerstandsbestimmung, mit analogem  
Vielfachmesser 116  
– mit digitalem Vielfachmesser 117  
Widerstandsnetzwerk 499  
Widerstandsnorm 107  
Widerstandsthermometer 138  
Wiederholfrequenz 132  
Wiederholmessung 571 f., 576, 579 f., 582, 590, 594 f.  
Wiederholproblem 22  
Wien-Brücke 119  
Wien-Robinson-Brücke 127  
Winkel 28, 218  
Winkelaufnehmer, codierter 227  
–, inkrementaler 227  
–, kapazitiver 227  
–, resistiver 227  
Winkellageerfassung 258  
Winkelmessung 226  
Wirbelfrequenz-Durchflussmessung 178  
Wirbelstromverfahren 250  
Wirkdruckverfahren 171  
Wirkenergie 71, 125  
Wirkenergiezähler 97  
Wirkleistung 67, 95, 97  
Wirkleistungsmesser 125  
Wirkleistungsmessung 128



- Wort 475  
Wortcode 445
- X**  
*x*-Eingang, asymmetrischer 84  
Xerox-Trommel 526
- Z**  
Zähigkeit 212  
–, dynamische 213  
–, kinematische 213  
Zählen 17  
Zahlenkomparator 447  
Zähler 455, 481, 491  
–, asynchroner 455  
–, synchroner 456  
Zählrichtung 456  
Z-Diode 418  
Zeichengenerator 520  
Zeigerfrequenzmesser 100, 126  
Zeilendecoder 476  
Zeilenfrequenz 522  
Zeilenleitung 476  
Zeit 492  
Zeitanalysator 483  
Zeitbewertung 365  
Zeitfunktion 36  
Zeitgeber 457, 481  
Zeitintervall 251  
Zeitkonstante 406, 416, 424  
Zeitmessung 251  
Zeitmultiplex 528  
Zeitskala 251  
Zentraleinheit (CPU) 480  
Zerhacker 407  
Zerhackerverstärker 406, 411  
Zersetzungsspannung 309  
Zielfunktion 19  
Zielgröße 562  
Zifferncode 445  
Zirkondioxid 295  
Z-Spannung 418  
zufälliger Fehler 571  
Zugriffszeit 427  
Zuordnungssystem 434  
– mit direkter Logikpolarität 435  
– mit einheitlicher Logikvereinbarung 434  
Zustandsanalysator 483  
Zustandsflag 474  
Zustandsvektor 451  
Zuverlässigkeit 551, 553 ff., 557, 564  
Zweibildverfahren 318  
2-Bit-Komparator 447  
Zweifachgegenkopplung 429  
Zweimikrofontechnik 379  
Zwei-Rampen-A/D-Umsetzer 493  
Zweiter 389  
Zweiweggleichrichter 421  
Zwicker-Verfahren 375  
Zwischenabbildungssignal 36  
Zwischenspeicher 458