

Inhalt

Vorwort	XI
1 Einleitung	1
1.1 Einführung in die Messtechnik	1
1.1.1 Bedeutung der Messtechnik	1
1.1.2 Grundbegriffe der Messtechnik	3
1.1.3 Struktur einer Messeinrichtung	6
1.1.4 Beispiel für eine Messeinrichtung	8
1.1.5 Anwendungen von Sensoren im Kraftfahrzeug	9
1.2 Eigenschaften von Messgeräten	12
1.2.1 Übertragungsverhalten	12
1.2.2 Messunsicherheit	14
1.2.3 Betriebsverhalten	17
1.3 Grundlagen aus der Elektrotechnik	18
1.3.1 Spannungsquelle	18
1.3.2 Stromquelle	20
1.3.3 Spannungsteiler	22
1.3.4 Tiefpass	23
1.3.5 Hochpass	27
1.3.6 Komplexe Impedanzen	29
1.3.7 Bandpass, Impulsformer	32
2 Analog-Messgeräte	34
2.1 Operationsverstärker	34
2.1.1 Arbeitsweise von Operationsverstärkern	34
2.1.2 Elektrische Kenngrößen von Operationsverstärkern	39
2.1.3 Dynamisches Verhalten von Operationsverstärkern	40
2.1.4 Hersteller-Daten von Operationsverstärkern	43
2.2 Einfache Messschaltungen mit Operationsverstärkern	44
2.2.1 Invertierende Schaltung zur Strom- und Spannungsmessung	44
2.2.2 Nichtinvertierende Schaltung zur Spannungsmessung	50
2.2.3 Spannungsausgang	55
2.2.4 Verstärker als Integrator oder Tiefpass	56
2.3 Verstärker für die Messsignalverarbeitung	58
2.3.1 Addierer, Subtrahierer	58
2.3.2 Differenzverstärker, Instrumentenverstärker	61

2.3.3	Spannungsgesteuerte Stromquelle	64
2.3.4	Einfluss von Störgrößen auf das Messsignal	66
2.3.5	Rauschen	72
2.3.6	Trägerfrequenz-Verfahren. Lock-in-Verstärker	75
2.3.7	Übertragung von analogen Messsignalen	79
3	Digital-Messgeräte	81
3.1	Grundsaltungen für die Digitaltechnik	81
3.1.1	Bistabile Kippglieder (Flipflops)	81
3.1.2	Komparator. Schwellenwertschalter	85
3.1.3	Monostabile und astabile Kippschaltung.	88
3.2	Zähler für Ereignisse, Zeit oder Frequenz	93
3.2.1	Messglieder des Universalzählers	93
3.2.2	Anwendungen elektronischer Zähler	97
3.3	Analog-Digital-Umsetzer für zeitliche Mittelwerte	101
3.3.1	AD-Umsetzer nach dem Dual-Slope-Verfahren	102
3.3.2	Spannungs-Frequenz-Umformer. Frequenz-Spannungs-Umformer	104
3.3.3	Dämpfen von Störwechselspannungen durch Integration	108
3.4	Analog-Digital-Umsetzer für den Augenblickswert	110
3.4.1	Einführung	110
3.4.2	Abtast- und Haltekreis. Sample and Hold	113
3.4.3	DA-Umsetzer für die Rückführung	117
3.4.4	AD-Umsetzer mit sukzessiver Approximation	121
3.4.5	Sigma-Delta-AD-Umsetzer	123
3.4.6	Kenngrößen von DA- und AD-Umsetzern	125
3.4.7	Hersteller-Daten für AD-Umsetzern	128
3.5	Mikrocomputer in der Sensor-Messtechnik	129
3.5.1	Aufbau und Funktionsweise von Mikrocomputern	130
3.5.2	Anwendung von Mikrocontrollern in Messsystemen	135
3.5.3	Übertragung von digitalen Messsignalen mittels Feldbus	137
4	Sensoren aus passiven elektrischen Messgliedern	142
4.1	Anpassungsschaltungen für Widerstände	142
4.1.1	Grundgleichungen für die Messbrücke	142
4.1.2	Abgleich-Messbrücke	145
4.1.3	Ausschlag-Messbrücke	148
4.1.4	Messen durch Stromeinprägen	149
4.2	Widerstände als Sensoren	152
4.2.1	Elektrische Leitung	152
4.2.2	Abhängigkeit von der Kontaktstellung. Potentiometer	153
4.2.3	Abhängigkeit von der Temperatur	154
4.2.4	Messen der Temperatur mit Widerständen	157
4.2.5	Abhängigkeit von der Bestrahlungsstärke. Photowiderstand	166
4.2.6	Abhängigkeit von Verformung	168
4.2.7	Messen mit Dehnungsmessstreifen	171
4.2.8	Abhängigkeit von der magnetischen Flussdichte. Magnetowiderstand	177

4.2.9	Abhängigkeit von der Ionenkonzentration in Elektrolyten. Konduktometrie . . .	182
4.2.10	Halbleiter-Gassensoren.	184
4.3	Kondensatoren als Sensoren	186
4.3.1	Anpassungsschaltungen für Kapazitäten	187
4.3.2	Abhängigkeit von der Elektrodenfläche	190
4.3.3	Abhängigkeit vom Dielektrikum	192
4.3.4	Abhängigkeit vom Elektrodenabstand	194
4.4	Drosselpulen als Sensoren	196
4.4.1	Magnetischer Kreis	196
4.4.2	Induktive Weg- und Positions-Sensoren	198
4.4.3	Anpassungsschaltungen für Drosselpulen	202
5	Sensoren mit Spannung als Messsignal	209
5.1	Thermoelektrische Effekte	209
5.1.1	Seebeck-Effekt. Peltier-Effekt	209
5.1.2	Temperaturmessung mit Thermoelementen	212
5.1.3	Diode als Temperatursensor	215
5.2	Elektrochemische Spannung. Potentiometrie	219
5.2.1	pH-Messkette	219
5.2.2	Ionenselektive Elektroden	224
5.2.3	Redox-Elektroden	225
5.2.4	Gassensitive Elektroden. Lambda-Sonde	226
5.2.5	Ionensensitive Feldeffekt-Transistoren	231
5.3	Magnetisch-induktive Sensoren	233
5.3.1	Lorentzkraft. Induktionsgesetz	233
5.3.2	Impulsgeber. Drehzahlmesser. Tachogenerator	234
5.3.3	Magnetisch-induktiver Durchflussmesser	238
5.3.4	Hall-Sensor	239
5.3.5	Differentialtransformator	244
5.3.6	Magnetoelastischer Kraftmesser	245
5.3.7	Anwendungen der Tauchspule	246
6	Sensoren mit Strom oder Ladung als Messsignal	248
6.1	Photoelektrischer Effekt	248
6.1.1	Grundlagen	249
6.1.2	Photoelement	258
6.1.3	Photodiode	260
6.1.4	Phototransistor	264
6.1.5	CCD und Aktiv-Pixel CMOS Bildsensoren	265
6.1.6	Photozelle	270
6.1.7	Photovervielfacher	271
6.2	Ionisation durch energiereiche Strahlung	273
6.2.1	Ionisierende Strahlung, Radioaktivität	274
6.2.2	Wechselwirkung von ionisierender Strahlung mit Materie	279
6.2.3	Ionisationskammer. Zählrohr	285
6.2.4	Szintillationsdetektor	293

6.2.5	Halbleiter-Detektor für ionisierende Strahlung	295
6.3	Konzentrationsbestimmung durch den Grenzstrom. Amperometrie	307
6.3.1	Flammen-Ionisations-Detektor	307
6.3.2	Amperometrie mit flüssigen Elektrolyten	308
6.3.3	Amperometrische Sauerstoff-Sensoren mit Festkörper-Ionenleiter	312
6.4	Piezoelektrischer und pyroelektrischer Effekt	313
6.4.1	Piezoelektrische Sensoren	313
6.4.2	Pyroelektrische Sensoren	318
7	Messumformung in nichtelektrischen Systemen	321
7.1	Optische Messverfahren	321
7.1.1	Grundlagen der spektralen Extinktionsmessung	322
7.1.2	Messen der Ionenkonzentration in Wasser	325
7.1.3	Messen von Stoffkonzentrationen in Luft	326
7.1.4	Lichtwellenleiter als Sensoren.	338
7.2	Ultraschall-Messverfahren	343
7.2.1	Grundlagen	344
7.2.2	Abstandsmessung. Wegmessung	349
7.2.3	Geschwindigkeitsmessung	353
7.2.4	Ultraschall-Strömungsmessung	355
7.2.5	Messung der Zusammensetzung von Gas- und Flüssigkeitsgemischen	360
7.2.6	Messtechnische Anwendungen von akustischen Oberflächenwellen-Übertragungsstrecken	364
7.3	Thermische Messverfahren	367
7.3.1	Wärmeleitung in Gasen	367
7.3.2	Wärmetönung bei katalytischer Verbrennung	369
7.4	Resonatoren als Messaufnehmer	371
7.4.1	Harmonisch schwingende Systeme	372
7.4.2	Abhängigkeit von der Masse	378
7.4.3	Abhängigkeit von der Federkonstanten	382
7.4.4	Abhängigkeit von der Dämpfung	383
7.4.5	Abhängigkeit von einer äußeren Kraft	384
7.4.6	Resonatoren zur Messung von kinematischen Größen	386
7.4.7	Coriolis-Sensoren zur Massendurchfluss-Messung	392
7.4.8	Coriolis-Sensor als Gyrometer im Kraftfahrzeug	394
8	Messen mechanischer und thermischer Größen	398
8.1	Länge. Dicke. Winkel	399
8.1.1	Messung von Abstand, Weg und Winkel	399
8.1.2	Dickenmessung	400
8.1.3	Schichtdickenmessung	403
8.1.4	Abstands- und Dimensionsmessung im Nanometer-Bereich	406
8.2	Dehnung. Kraft. Druck. Drehmoment	408
8.2.1	Dehnungsmessung	408
8.2.2	Messung von Kraft, Masse und Drehmoment	409
8.2.3	Druckmessung im Bereich über 1 mbar	411

8.2.4	Druckmessung im Vakuumbereich	413
8.3	Kinematische Größen	417
8.3.1	Messen von Schwingbewegungen und Beschleunigung	417
8.3.2	Messen von Drehzahl und Geschwindigkeit	418
8.4	Durchfluss, Viskosität, Füllstand	419
8.4.1	Messen von Durchfluss und Strömungsgeschwindigkeit	419
8.4.2	Viskositätsmessung	429
8.4.3	Füllstandsmessung	434
8.5	Temperatur, Luftfeuchte	437
8.5.1	Grundlagen der Temperaturmessung	437
8.5.2	Berührungsthermometer	438
8.5.3	Strahlungsgesetze	438
8.5.4	Strahlungsthermometer	443
8.5.5	Besondere Temperaturmessverfahren	453
8.5.6	Luftfeuchte-Messung	455
9	Messen von Stoffkonzentrationen	461
9.1	Stoffkonzentrationen in Luft	461
9.1.1	Regelungen zur Begrenzung luftfremder Stoffe	461
9.1.2	Messverfahren für Fremdgase aus dem VDI-Handbuch „Reinhaltung der Luft“	461
9.1.3	Weitere Verfahren für die Gasanalyse	464
9.1.4	Staubmessung	468
9.2	Stoffkonzentrationen in Wasser	472
9.2.1	Regelungen zur Begrenzung von Wasserinhaltsstoffen	472
9.2.2	Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung	473
9.2.3	Verfahren zur Prozessanalyse von wässrigen Lösungen	475
9.3	Stoffkonzentrationen in biologischen Flüssigkeiten	475
9.3.1	Funktionsweise und Aufbau von Biosensoren	475
9.3.2	Ausführungsformen und Anwendungen von Biosensoren.	477
	Literaturverzeichnis	481
	Sachwortverzeichnis	491