

Armin Schöne

Meßtechnik

Mit 184 Abbildungen

Springer-Verlag

Berlin Heidelberg New York

London Paris Tokyo

Hong Kong Barcelona Budapest

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
1.1	Die Meßaufgabe	1
1.2	Grundbegriffe der Meßtechnik	2
1.3	Fehlerarten	6
1.3.1	Fehlerquellen	6
1.3.2	Fehlergrößen	9
1.4	Fehlerfortpflanzung bei einmal gemessenen Meßgrößen	10
1.5	Wahrscheinliche Werte von Meßgrößen bei zufälligen Fehlern	12
1.5.1	Arithmetisches Mittel und Erwartungswert	12
1.5.2	Häufigkeitsverteilungen	14
1.5.3	Wahrscheinlichkeitsverteilungen	15
1.5.4	Normalverteilung	16
1.5.5	Poisson-Verteilung und Binomialverteilung	17
1.5.6	Schätzwerte statistischer Parameter und Vertrauensgrenzen	19
1.5.7	Signifikanzuntersuchungen	22
1.6	Fehlerfortpflanzung bei Meßreihen	23
1.7	Regressionsrechnung	25
1.7.1	Allgemeines	25
1.7.2	Lineare Regression	28
1.7.3	Genauigkeit von Regressionsmodellen	31
1.7.4	Nichtlineare Regressionsansätze	33
2	Temperaturmessung	35
2.1	Allgemeines	35
2.2	Elektrische Widerstandsthermometer	37
2.2.1	Der Meßeffect	37
2.2.2	Einsatzbereiche von Widerstandsthermometern	41
2.2.3	Bauformen elektrischer Widerstandsthermometer	43
2.2.4	Meßschaltungen für elektrische Widerstandsthermometer	44
2.3	Thermoelemente als Temperaturfühler	53
2.3.1	Der Meßeffect	53
2.3.2	Meßanordnungen, Einsatzbereiche und Grundwerte von Thermoelementen	56
2.3.3	Bauformen von Thermoelement-Meßeinsätzen	60

2.3.4	Meßschaltungen für Thermoelemente	61
2.4	Strahlungsthermometer	65
2.4.1	Meßeffekte	65
2.4.2	Meßverfahren	67
3	Druckmessung	73
3.1	Einführung	73
3.1.1	Allgemeines	73
3.1.2	Physikalische Grundlagen	73
3.2	Unmittelbare Druckmessung	78
3.2.1	Druckmeßfühler für die Druckmessung in strömenden Fluids . .	78
3.2.2	U-Rohr-Manometer	80
3.3	Mittelbare Druckmessung	83
3.3.1	Schwimmerdruckmeßgeräte	83
3.3.2	Gefäßwaage	84
3.3.3	Deformations-Druckmeßgeräte	85
3.3.4	Druckmeßgeräte mit Dehnungsmeßstreifen	88
3.3.5	Piezoelektrische Druckmeßgeräte	90
4	Durchflußmessung	97
4.1	Übersicht	97
4.2	Wirkdruckverfahren	98
4.2.1	Strömungsmechanische Grundlagen	100
4.2.2	Durchflußgleichung unter vereinfachenden Annahmen	103
4.2.3	Anpassung der Durchflußgleichung an reale Verhältnisse	104
4.2.4	Düsen	108
4.2.5	Blenden	117
4.2.6	Vergleich unterschiedlicher Wirkdruckverfahren	122
4.3	Volumetrische Meßgeräte	125
4.3.1	Unmittelbares Messen von Volumenströmen	127
4.3.2	Mittelbares Messen von Volumenströmen	134
4.4	Verschiedene zur Strömungsgeschwindigkeit proportionale Meßeffekte .	138
4.4.1	Induktive Durchflußmesser	139
4.4.2	Ultraschall-Durchflußmesser	140
4.4.3	Wirbelstrom-Durchflußmesser	143
4.4.4	Optische Meßverfahren	145
4.5	Unmittelbare Messung von Massenströmen	150
4.5.1	Thermische Verfahren	150
4.5.2	Gyroskopische Meßverfahren	151
5	Messen von Dehnungen, Kräften, Drehmomenten und Leistungen .	155
5.1	Dehnungsmessungen	155
5.1.1	Elastische Dehnung fester Körper	155
5.1.2	Dehnungsmeßstreifen	156
5.1.3	Kapazitive Dehnungssensoren	165
5.1.4	Elektrische Sensoren für Längenänderungen	165

5.2	Kraftmessungen	167
5.2.1	Kraftmeßfühler mit Dehnungsmeßstreifen	167
5.2.2	Induktive Kraftmeßfühler	169
5.3	Drehmoment- und Leistungsmessung	170
5.3.1	Dynamik der Drehbewegung	170
5.3.2	Messen der Verformung elastischer Körper als Maß für Drehmo- mente	175
5.3.3	Meßbremsen	179
5.3.4	Leistungsmessung	183
6	Messen von Zeit, Drehzahlen und Beschleunigungen	185
6.1	Messen der Zeit	185
6.2	Messen von Drehzahlen	187
6.2.1	Direkte Drehzahlmessung	187
6.2.2	Indirekte Drehzahlmessung	188
6.3	Messen von Beschleunigungen	191
6.3.1	Beschleunigungsmeßgeräte mit mechanischen Schwingern	192
6.3.2	Beschleunigungsmeßgeräte mit elektrischen Sensoren	193
7	Messen von Längen	197
7.1	Messen kleiner Längen oder Wege	197
7.1.1	Meßsysteme mit pneumatischer Hilfsenergie	197
7.1.2	Meßsysteme mit elektrischer Hilfsenergie	199
7.2	Standmessung	203
7.2.1	Standmeßverfahren mit Schwimmern	204
7.2.2	Hydrostatische und pneumatische Standmeßverfahren	205
7.2.3	Elektrische Standmeßverfahren	207
7.2.4	Standmessung mit Ultraschall	208
7.3	Längen- und Positionsmessungen in der Fertigungstechnik	209
7.3.1	Digitale Längen- und Drehwinkelmeßverfahren	209
7.3.2	Laseroptische Abtastverfahren	210
7.3.3	Interferometrische Längenmessungen	212
7.3.4	Längenmessungen an bewegten Meßobjekten	214
8	Messen elektrischer Größen	217
8.1	Einheiten	217
8.2	Messen konstanter oder langsam veränderlicher elektrischer Größen . .	217
8.2.1	Messen von Gleichströmen	218
8.2.2	Messen von Gleichspannungen	220
8.2.3	Messen elektrischer Leistungen bei Gleichströmen	221
8.3	Messen rasch veränderlicher elektrischer Größen	223
8.3.1	Wechselspannungen und Wechselströme	223
8.3.2	Mittelwerte der Meßgrößen in Wechselstrom- und Drehstromnet- zen [51], [138], [7]	226
8.3.3	Messen der Momentanwerte schnell veränderlicher elektrischer Größen	232

9 Umformung, Übertragung und Verarbeitung von Meßsignalen	239
9.1 Meßumformer	239
9.2 Übertragung von Meßsignalen	245
9.2.1 Übertragung analoger und digitaler Nachrichten	245
9.2.2 Übertragung elektrischer Signale durch Leitungen	248
9.2.3 Meßwertübertragung über Lichtwellenleiter	253
9.2.4 Drahtlose Meßwertübertragung	255
9.2.5 Bussysteme	259
9.3 Meßwertverarbeitung	262
9.3.1 Analoge Meßwertverarbeitung	263
9.3.2 Digitale Rechenschaltungen	269
9.3.3 Digitale Rechenanlagen	275
10 Anhang: Aufgaben und Lösungen	293
10.1 Statistische Grundlagen	293
10.1.1 Erwartungswert einer Meßgröße	293
10.1.2 Fehlerfortpflanzung bei einmal gemessenen Meßgrößen	294
10.1.3 Statistische Kenngrößen, Fehlerfortpflanzung	296
10.1.4 Regressionsrechnung	298
10.1.5 Vertrauensbereich von Regressionskoeffizienten	299
10.2 Temperaturmessung	301
10.2.1 Wheatstonesche Brückenschaltung	301
10.3 Druckmessung	302
10.3.1 Bernoullische Gleichung	302
10.4 Durchflußmessung	304
10.4.1 Kontraktionszahl einer Meßblende	304
10.4.2 Gasströmung durch eine Venturidüse	306
10.4.3 Gasströmung durch eine Düse bei zeitveränderlichem Eintrittsdruck	308
10.4.4 Durchflußmessung und Flüssigkeitsstandregelung an einer Verdampferanlage	313
10.5 Dehnungen, Kräfte, Drehmomente, Leistungen	315
10.5.1 Meßschaltung für Dehnungsmeßstreifen	315
10.5.2 Kompensations-Dehnungsmeßstreifen zur Kompensation des Temperatureinflusses	319
10.5.3 Dehnungsmessungen mittels Dehnungsmeßstreifen	321
10.5.4 Messen mechanischer Leistungen	322
10.6 Drehzahlmessungen	324
10.6.1 Stroboskopisches Meßprinzip	324
10.7 Wegmessung	325
10.7.1 Kapazitive Wegmessung	325
10.8 Messen elektrischer Größen	328
10.8.1 Meßbereichsumschaltung bei einem Strommeßgerät	328
10.9 Signalverarbeitung	330
10.9.1 Analoges Filter	330
10.9.2 Umwandlung binär codierter Meßwerte in Dezimalzahlen	331

Literaturverzeichnis	335
Sachverzeichnis	343