

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung in die Sensorik und in die elektronische Messtechnik	1
1.1	Sensortypen	2
1.1.1	Standardsensoren	6
1.1.2	Messtechnische Grundbegriffe	8
1.1.3	Analoge und digitale Messgeräte	11
1.1.4	Strom und Spannung	20
1.1.5	Widerstände	25
1.2	Kalibrieren von Mess- und Prüfmitteln	27
1.3	Analoge und digitale Messwerterfassung	28
1.3.1	Aufbau einer analogen Messkette	28
1.3.2	Aufbau einer digitalen Messkette	29
1.3.3	Erfassung und Verarbeitung von Messdaten	31
1.3.4	Steuern, Regeln und Visualisieren	35
1.4	Messfehler	41
1.4.1	Fehlerarten	42
1.4.2	Fehlerquellen	50
1.4.3	Einflussfehler	52
1.4.4	Fehlerfortpflanzung	57
1.4.5	Auswahlkriterien für Messeinrichtungen	61
2	Bauelemente der elektronischen Messwerterfassung	65
2.1	Analoge Verstärkerfamilien	68
2.1.1	Interner Schaltungsaufbau von Operationsverstärkern	70
2.1.2	Betriebsarten eines Operationsverstärkers	72
2.1.3	Übertragungscharakteristik bei Operationsverstärkern	74
2.1.4	Invertierende Betriebsart	76
2.1.5	Nicht invertierender Betrieb	78
2.1.6	Spannungsabhängige Stromgegenkopplung	81
2.1.7	Stromabhängige Spannungsgegenkopplung	82
2.1.8	Stromabhängige Stromgegenkopplung	83

2.2	Lineare und nicht lineare Verstärkerschaltungen	83
2.2.1	Addierer bzw. Summierer	84
2.2.2	Operationsverstärker als Integrator	85
2.2.3	Differenzierer mit Operationsverstärker	87
2.2.4	Differenzverstärker oder Subtrahierer	88
2.2.5	Instrumentenverstärker.	91
2.2.6	Spannungs- und Strommessung.	93
2.3	Komparator und Schmitt-Trigger.	94
2.3.1	Einfacher Spannungsvergleich	95
2.3.2	Spannungsvergleich im gesättigten Verstärkerbetrieb	96
2.3.3	Window-Komparator	100
2.3.4	Dreipunktkomparator.	102
2.3.5	Schmitt-Trigger	104
2.3.6	Schmitt-Trigger in nicht gesättigter Betriebsart.	107
2.3.7	Komparator mit Kippverhalten	111
2.4	Messbrücken	112
2.4.1	Unbelasteter Spannungsteiler.	113
2.4.2	Belasteter Spannungsteiler.	114
2.4.3	Brückenschaltung.	114
2.4.4	Einfache Kapazitätsmessbrücke.	116
2.4.5	Wien- und Wien-Robinson-Brücke	120
2.4.6	Maxwell-Brücke	120
2.4.7	Schering-Brücke	122
2.4.8	Maxwell-Wien-Brücke.	123
2.4.9	Frequenzunabhängige Maxwell-Brücke	125
2.5	Analogschalter	126
2.5.1	Schalterfunktionen der Analogschalter	129
2.5.2	Operationsverstärker mit digitaler Ansteuerung	133
2.5.3	Sample & Hold-Schaltungen	135
2.6	Analog-Digital- und Digital-Analog-Wandler	141
2.6.1	Aufbau eines Datenerfassungssystems	141
2.6.2	Messdatenerfassung ohne Abtast- und Halteeinheit	145
2.6.3	Zeitmultiplexe Messdatenerfassung mit Abtast- und Halteeinheit.	146
2.6.4	Simultane Messdatenerfassung mit Abtast- und Halteeinheit	149
2.6.5	Antialiasing-Filter	150
2.6.6	Systeme zur Signalabtastung	151
2.6.7	Theorem zur Signalabtastung	154
2.7	AD- und DA-Wandler	156
2.7.1	Natürlicher Binärcode	157
2.7.2	Komplementärer Binärcode	159
2.7.3	Codes für AD- und DA-Wandler	159

2.7.4	BCD-Codierung	161
2.7.5	Spezifikationen von Datenumsetzern	162
2.7.6	Relative Genauigkeit bei Wandlersystemen	166
2.7.7	Absolute Genauigkeit bei Wandlern	168
2.8	Digital-Analog-Wandler	172
2.8.1	Übertragungsfunktion	172
2.8.2	Aufbau und Funktion eines DA-Wandlers	176
2.8.3	R2R-DA-Wandler	179
2.8.4	DA-Wandler mit externen Widerständen	180
2.9	Analog-Digital-Wandler	183
2.9.1	AD-Wandler nach dem Zählverfahren	184
2.9.2	AD-Wandler mit Nachlaufsteuerung	186
2.9.3	AD-Wandler mit stufenweiser Annäherung	187
2.9.4	Single-Slope-AD-Wandler	191
2.9.5	Dual-Slope-AD-Wandler	192
2.9.6	Spannungs-Frequenz-Wandler	194
3	Temperatursensoren	199
3.1	Grundsätzliches über Temperaturerfassung	200
3.1.1	Temperaturabhängige Effekte	201
3.1.2	Temperaturabhängige Widerstände	202
3.1.3	NTC-Widerstände oder Heißeiter	204
3.1.4	Daten, Bauformen und Technologie von Heißeitern	206
3.1.5	Linearisierung von Heißeiter-Kennlinien	208
3.1.6	Verstärkerschaltungen für linearisierte Heißeiter	209
3.1.7	PTC-Widerstände	211
3.1.8	Schutzschaltungen mit Kaltleitern	212
3.1.9	Temperaturschalter von $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ bis $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$	213
3.1.10	Temperaturschalter mit Fühlerüberwachung	216
3.2	LED-Thermometer	221
3.2.1	Integrierter Wandlerbaustein ICL7106 und ICL7107	222
3.2.2	Externe Komponenten des ICL7106 und ICL7107	227
3.2.3	Integrierende AD-Wandler mit dem ICL7106 und ICL7107	231
3.3	Thermoelemente	235
3.3.1	Thermoelektrischer Effekt	235
3.3.2	Messungen mit Thermoelementen	237
3.3.3	Verstärker für Thermoelemente	238
3.4	Widerstandsthermometer mit Pt100 bzw. Ni100	241
3.4.1	Pt100-Widerstandsthermometer	241
3.4.2	Ni100-Widerstandsthermometer	243
3.4.3	Silizium-Temperatursensor als Pt100-Ersatz	244
3.4.4	Anschluss eines Widerstandsthermometers	245

3.4.5	Vermeidung elektromagnetischer Störanfälligkeit	247
3.4.6	Erdschleifen, Erdung und abgeschirmte Leitungen	251
3.4.7	Wärmeflussaufnehmer	252
3.5	Messung mechanischer Größen mit Temperatursensoren	254
3.5.1	Füllstandsmessung	255
3.5.2	Messung der Strömungsgeschwindigkeit	256
3.5.3	Mikrobrücken-Luftstromsensoren	259
3.5.4	Heißfilm-Luftmassensensor	262
3.5.5	Hitzdraht-Luftmassensensor	263
4	Optische Sensoren	267
4.1	Eigenschaften und Ausführungsformen	269
4.1.1	Hellempfindlichkeit	269
4.1.2	Technologie der Photodioden	271
4.1.3	Anwendungen von Photodioden	272
4.1.4	Photowiderstand	274
4.1.5	Messschaltung mit einem Photowiderstand	276
4.1.6	Dämmerungsschalter	277
4.1.7	Phototransistor	279
4.1.8	Automatische Garagenbeleuchtung mit Phototransistor	280
4.1.9	Photoelement	281
4.2	Aktive Optoelektronik	284
4.2.1	Emitterbauelemente	285
4.2.2	Laserdioden (Halbleiter-Laser)	285
4.2.3	Leuchtdioden	290
4.3	Optokoppler	293
4.4	Lichtschranken und optoelektronische Abtastsysteme	295
4.4.1	Einweglichtschranken	296
4.4.2	Sonderformen von Einweglichtschranken	297
4.4.3	Reflexionslichtschranken	297
4.4.4	Reflexionslichttaster	298
4.4.5	Erfassung glänzender Objekte	301
4.4.6	Lichttaster mit Hintergrundausbldung	302
4.4.7	Bohrerbruchkontrolle mittels Lichtschanke	303
4.4.8	Optische Entfernungsmessung	305
4.5	Optische Drehwinkel- und Positionserfassung	309
4.5.1	Absolut-Drehwinkelgeber	309
4.5.2	Gabellichtschranken	311
4.5.3	Inkrementale Drehgeber	315
4.5.4	Signalauswertung	316

5	Feuchtesensoren	319
5.1	Physikalische Messverfahren	320
5.1.1	Zweckmäßige Messmethoden	321
5.1.2	Methoden der Feuchtegehaltsbestimmung	322
5.1.3	Indirekte Messverfahren	324
5.1.4	Labormessverfahren höherer Genauigkeit	325
5.2	Physikalische Zusammenhänge	328
5.2.1	Definition des Wasserdampf-Partialdrucks	329
5.2.2	Taupunkt	330
5.2.3	Relative Feuchte in Gasen	330
5.2.4	Relative Feuchte in Flüssigkeiten	331
5.2.5	Aufbau und Funktionsweise eines Aluminiumoxid- Feuchtesensors	333
5.2.6	Anwendung von Aluminiumoxid-Feuchtesensoren	336
5.2.7	Temperatur- und Druckverhalten	339
5.3	Realisierung von Feuchtemessung	340
5.3.1	Einfache Messschaltung mit Feuchtesensor	340
5.3.2	Feuchteabhängige Steuerung	345
6	USB-Oszilloskop	349
6.1	Messungen mit USB-Oszilloskop	351
6.1.1	Aufzeichnungsarten	352
6.1.2	USB-Oszilloskop-Fenster	355
6.1.3	MSO-Ansicht für Mixed-Signal-Oszilloskop	356
6.1.4	Triggermarkierung	360
6.1.5	Spektralansicht	361
6.1.6	Persistenzmodus	362
6.1.7	Messtabelle	364
6.1.8	Signallineale	365
6.1.9	Möglichkeiten der Eigenschaften des USB-Oszilloskops	370
6.1.10	Rechenkanäle	373
6.1.11	Referenzwellenformen in ausgewählter Oszilloskop- oder Spektralansicht	373
6.1.12	Maskengrenzprüfung	375
6.1.13	Alarmer	376
6.2	Menüs für USB-Oszilloskop	379
6.2.1	Menü „Datei“	379
6.2.2	Dialogfeld „Speichern unter“	380
6.2.3	Menü „Starteinstellungen“	385
6.2.4	Dialogfeld „Benutzerdefiniertes Rasterlayout“	389
6.2.5	Menü „Messungen“	390
	Stichwortverzeichnis	393