

Peter Giesecke

# **Industrielle Meßtechnik**

**Entwicklung analoger und PC-gestützter  
Meßschaltungen**

Hüthig Verlag Heidelberg

# Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der verwendeten Blockschaltbildsymbole.....	13
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>15</b>
1.1 Entwicklungstendenzen in der Meßtechnik.....	15
1.2 Fachwissen und Strategien des Ingenieurs.....	18
<b>2 Grundlagen der Meßtechnik.....</b>	<b>27</b>
2.1 Anwendungen und Einsatzgebiete.....	27
2.1.1 Einführung.....	27
2.1.2 Typische Meßaufgaben in der Industrie.....	28
2.2 Aus den Anwendungen resultierende Anforderungen.....	32
2.3 Voraussetzungen für eine reproduzierbare Messung.....	35
2.4 Grundbegriffe der Meßtechnik.....	37
2.5 Einteilung der Meßverfahren.....	41
2.6 Meßfehler und Fehlerursachen.....	42
2.6.1 Fehlerdefinitionen.....	42
2.6.2 Fehlerursachen.....	42
2.6.3 Statische Meßfehler.....	49
2.6.4 Systematische Meßfehler.....	51
2.6.5 Zufällige Meßfehler.....	52
2.6.6 Berechnung der Meßunsicherheit.....	60
2.6.7 Fehlerfortpflanzung.....	61
2.7 Justieren und Kalibrieren von Meßgeräten.....	63
2.7.1 Definitionen.....	63
2.7.2 Wahl der geeigneten Näherung.....	64
2.7.3 Fixpunktnäherung.....	67
2.7.4 Toleranzbandmethode.....	68
2.7.5 Kurvenapproximation.....	71
2.7.6 Tangentennäherung.....	72
2.7.7 Fehlerangaben für Meßgeräte.....	74

2.8	Dynamisches Verhalten von Meßgeräten.....	75
2.8.1	Entstehung und Definition dynamischer Fehler.....	75
2.8.2	Mathematische Beschreibung der wichtigsten Meßsysteme.....	19
2.8.3	Dynamischer Fehler von zeitlich konstanten Meßgrößen.....	83
2.8.4	Dynamischer Fehler von zeitlich nicht konstanten Meßgrößen.....	86
2.8.5	Korrektur dynamischer Fehler.....	96
<b>3</b>	<b>Meßaufnehmer.....</b>	<b>99</b>
3.1	Definition und Unterscheidung.....	99
3.2	Piezoelektrische Aufnehmer.....	102
3.3	Elektrodynamische Aufnehmer.....	112
3.4	Thermoelektrische Aufnehmer (Thermoelemente).....	116
3.5	Fotodioden.....	119
3.6	Widerstandsnehmer.....	123
3.7	Potentiometer.....	124
3.8	Dehnungsmeßstreifennehmer.....	126
3.8.1	Physikalische Grundlagen.....	126
3.8.2	Normalkraftnehmer.....	130
3.8.3	Biegenehmer.....	133
3.8.4	Torsionsnehmer.....	138
3.8.5	Schubkraftnehmer.....	139
3.8.6	Drucknehmer.....	141
3.8.7	Mehrkomponentennehmer.....	142
3.8.8	Kennwert von DMS-Aufnehmern.....	144
3.8.9	Kompensationsmaßnahmen.....	145
3.9	Metallwiderstandsthermometer.....	149
3.10	Halbleiter.....	151
3.11	Induktive Aufnehmer.....	153
3.12	Kapazitive Aufnehmer.....	156
<b>4</b>	<b>Meßsignalverarbeitung.....</b>	<b>163</b>
4.1	Übersicht.....	163
4.2	Grundlagen der analogen Signal Verarbeitung.....	165
4.2.1	Prinzip des idealen Operationsverstärkers.....	165
4.2.2	Nicht invertierende Verstärkerschaltung.....	166
4.2.3	Additionsschaltung.....	173
4.2.4	Subtraktionsschaltung.....	178
4.2.5	Integrierschaltung.....	182
4.2.6	Differenzierschaltung.....	184
4.2.7	Multiplizierschaltung.....	186
4.2.8	Dividierschaltung.....	189
4.2.9	Radizierschaltung.....	192
4.2.10	Komparatorschaltung.....	194

## Inhaltsverzeichnis

4.3 Meßverstärker.....	201
4.3.1 Gleichspannungsverstärker.....	202
4.3.2 Trägerfrequenzverstärker.....	204
4.3.3 Vergleich der beiden Verfahren.....	208
4.3.4 Ladungsverstärker.....	211
5 Meßdatenerfassung mit dem Computer.....	213
5.1 Einleitung.....	213
5.2 Prinzipieller Aufbau von Meßwerterkartens.....	215
5.3 Verstärker.....	217
5.4 Analogmultiplexer.....	221
5.5 Antialiasing-Filter.....	223
5.6 Sample- und Hold-Stufe.....	228
5.7 Digital-Analog-Wandler.....	232
5.8 A/D-Wandler.....	234
5.8.1 Das Prinzip der Digitalisierung.....	234
5.8.2 A/D-Wandler mit parallelen Komparatoren.....	236
5.8.3 Inkrementale A/D-Stufenumsetzer.....	237
5.8.4 Dual-Slope-Wandler.....	239
5.9 Organisation der Datenübertragung.....	241
5.9.1 Programmgesteuerte Datenabfrage.....	241
5.9.2 Interruptgesteuerte Datenabfrage.....	242
5.9.3 Unmittelbarer Speicherzugriff (DMA).....	243
5.9.4 Burst Sampling.....	244
5.9.5 Equivalent Time Sampling.....	245
6 Schwingungsanalyse.....	247
6.1 Anwendungen.....	247
6.2 Schwingungsformen und ihre Darstellung.....	248
6.3 Prinzipielle Möglichkeiten zur Frequenzanalyse.....	251
6.4 Fourierdarstellung einer periodischen Funktion.....	252
6.5 Fouriertransformation in komplexer Zahlenebene.....	257
6.6 Berechnung der Echtzeitbandbreite.....	260
6.7 Mehrkanalige Schwingungsmessung.....	261
6.8 Auslösung der Messung.....	263
6.9 Wirkungsweise von Fensterfunktionen.....	263
6.10 Mittelwertbildung für Frequenzspektren.....	265
6.11 Darstellung von Frequenzspektren.....	266

7 Anwendungen	269
7.1 Dialektik als Hilfsmittel des Ingenieurs	269
7.2 Meßschaltung mit Fehlerkompensation..'	273
7.3 Entwicklung eines Kranwaagenbausatzes für 1 bis 50 t	281
7.4 Wägetechnische Schwerpunktsbestimmung	284
7.5 Klassifizierung von Stangenmaterial	-...288
7.6 Projektierung bis Installation einer Meßanlage	291
7.6.1 Informationsgewinnung	291
7.6.2 Erstellung des Pflichtenheftes	292
7.6.3 Konfiguration	293
7.6.4 Kalkulation und Angebotserstellung	293
7.6.5 Vergabeverhandlungen	294
7.6.6 Auftragsbearbeitung	295
7.6.7 Montage und Inbetriebnahme	297
Verzeichnis der Beispiele	301
Literaturverzeichnis	305
Anhang: Einführung in die beiliegenden Demoprogramme	307
A.1 Komplettlösung versus PC-Einsteckkarte	307
A.1.1 Einführung	307
A.1.2 PC-Einsteckkarten und Software	308
A.1.3 Black-Box-Systeme	308
A.1.3 n-MUSYCS im Einsatz als Universal Meßgerät	309
"A.1.4 Signalkonditionierung, ein Thema, das Beachtung verdient	311
A.1.5 Signalkonditionierung von Daten am Beispiel des CAN-Bus	313
A.1.6 Signalprozessoren für Echtzeitverrechnung und-Steuerung	313
A.1.7 Rauhe Umgebungsbedingungen im mobilen Einsatz	315
A.1.8 Meßtechnik und Ferndiagnose über Internet	316
A.1.9 Einführung in die FAMOS Signalanalysesoftware	318
A.2 catman® - Skalierbare Meßtechniksoftware	318
A.2.1 Einleitung	318
A.2.2 Verbindung zwischen Meßhardware und Software	319
A.2.3 Der kürzeste Weg zur Messung	320
A.2.4 Bericht und Darstellung nach Maß	325
A.2.5 Automatisierung des Meßablaufs	325
A.2.6 Offenes System	327
A.2.7 Zusammenfassung	329

- A.3 PC-Werkstatt DIAcfew®..... 329
  - A.3.1 Integrierte Lösungen mit technischer Standardsoftware..... 329
  - A.3.2 Die Meßwerterfassung..... 330
  - A.3.3 Die Auswertung..... 333
  - A.3.4 Automatische Abläufe..... 335
  - A.3.5 Offen und erweiterbar..... 336
  - A.3.6 Die Bewältigung der Datenflut..... 337
- A.4 HP VEE unter Windows95/NT..... 338
  - A.4.1 Einführung..... 338
  - A.4.2 Arbeiten mit HP VEE..... 339
  - A.4.3 Kleine Übung zum „Nachbauen“..... 344
- A.5 LabVIEW - Eine Einführung..... 348
  - A.5.1 Kurzfassung..... 348
  - A.5.2 Einführung..... 348
  - A.5.3 LabVIEW - Konzeptionen..... 349
  - A.5.4 Wizards - Assistenten für mehr Komfort..... 351
  - A.5.5 DAQ Channel Wizard..... 351
  - A.5.6 Fazit..... 355
  
- Sachwörterverzeichnis..... 357