

Bodo Heimann • Wilfried Gerth • Karl Popp

Mechatronik

Komponenten - Methoden - Beispiele

3., neu bearbeitete und erweiterte Auflage

Mit 249 Bildern, 23 Tabellen
und 61 ausführlich durchgerechneten Beispielen



Fachbuchverlag Leipzig
im Carl Hanser Verlag

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Grundbegriffe	13
1.1	Grundbegriffe der Mechatronik	13
1.2	Prozessanalyse mechatronischer Systeme	16
1.3	Modellbildung und Punktionsbegriff in der Mechatronik	21
1.4	Entwurf mechatronischer Systeme	28
2	Aktoren	32
2.1	Aufbau und Wirkungsweise der Aktoren	32
2.2	Elektromagnetische Aktoren	37
2.2.1	Grundlagen elektrodynamischer Wandler	37
2.2.2	Bauformen elektrodynamischer Wandler	41
2.2.3	Grundlagen elektromagnetischer Wandler	45
2.2.4	Ausführungsformen und Kenndaten elektromagnetischer Aktoren	50
2.3	Fluidische Aktoren	54
2.3.1	Gegenüberstellung von hydraulischen und pneumatischen Aktoren	57
2.3.2	Grundlagen hydraulischer Wandler	58
2.3.3	Ausführungsformen und Kenndaten hydraulischer Aktoren	63
2.4	Neuartige Aktoren	65
2.4.1	Übersicht	65
2.4.2	Grundlagen piezoelektrischer Wandler	65
2.4.3	Ausführungsformen und Kenndaten piezoelektrischer Aktoren	69
2.5	Vergleich ausgewählter Aktoren	71
3	Sensoren	74
3.1	Integrationsgrade und Anforderungen an Sensoren	74
3.2	Kenngrößen von Sensoren	77
3.2.1	Begriffe und Definitionen	77
3.2.2	Statisches Verhalten von Messsystemen	79
3.3	Wirkprinzipien zur Messung kinematischer und dynamischer Größen	81
3.4	Weg- und Winkelmessung	82
3.4.1	Potentiometrische Verfahren	82
3.4.2	Induktive Messverfahren	84
3.4.3	Messverfahren mit Magnetfeldsensoren	87
3.4.4	Kapazitive Messverfahren	88
3.4.5	Messverfahren auf Ultraschallbasis	89
3.4.6	Magnetostriktive Weggeber	93
3.4.7	Absolutwertgeber	93
3.4.8	Inkrementale Messverfahren	94
3.5	Geschwindigkeitsmesssysteme	96
3.6	Beschleunigungsmesssysteme	97
3.6.1	Piezoelektrische Beschleunigungssensoren	97
3.6.2	Mikromechanische Beschleunigungssensoren	99

3.7	Einachsige Kraft- und Momentmessung	. . . . .	100
3.7.1	Kraft-/Momentaufnehmer mit Dehnungsmessstreifen	. . . . .	101
3.7.2	Optische Verfahren zur Kraftmessung	. . . . .	105
3.7.3	Piezoelektrische Kraft- und Momentsensoren	. . . . .	107
3.7.4	Magnetoelastische Kraftsensoren	. . . . .	107
3.7.5	Kompensationsverfahren zur Kraftmessung	. . . . .	108
3.8	Mehrkomponenten-Kraftsensoren	. . . . .	109
4	Signalverarbeitung	. . . . .	112
4.1	Einteilung und Darstellung von Signalen	. . . . .	112
4.1.1	Signalkennwerte und Signalkennfunktionen	. . . . .	114
4.1.2	Einfluss von Zeitfenstern bei der FOURIER-Transformation	. . . . .	120
4.1.3	Überlagerung von Signalen	. . . . .	124
4.2	Zeitdiskrete Signale	. . . . .	129
4.2.1	Periodische Abtastung eines Zeitsignals	. . . . .	130
4.2.2	Diskrete FOURIER-Transformation (DFT und FFT)	. . . . .	133
4.2.3	Schätzung von Signalmodellen (Formfilter)	. . . . .	140
5	Prozessdatenverarbeitung	. . . . .	143
5.1	Begriffsdefinition Echtzeitdatenverarbeitung	. . . . .	144
5.2	Grundstrukturen reaktiver Programmierung	. . . . .	145
5.2.1	Programmgesteuerte Abfrage, Polling	. . . . .	145
5.2.2	Zeitinterruptgesteuerte Abfrage	. . . . .	146
5.2.3	Sammelinterruptgesteuerte Abfrage	. . . . .	149
5.2.4	Prioritätsinterruptsystem	. . . . .	149
5.3	Multitasking und Multiprocessing	. . . . .	151
5.3.1	Einfaches Multitasking	. . . . .	151
5.3.2	Multiprozessorarchitekturen	. . . . .	157
5.3.3	Das Preemptionproblem	. . . . .	157
5.4	Zeit-/Ereignisscheduling	. . . . .	160
5.5	Synchronisation von Prozessen	. . . . .	160
5.5.1	Konfliktsituationen bei mehreren Prozessen	. . . . .	160
5.5.2	Semaphore	. . . . .	163
5.5.3	Monitore	. . . . .	166
5.5.4	Bolt-Variable	. . . . .	167
5.5.5	Zählende Semaphore	. . . . .	168
5.5.6	Rendezvous	. . . . .	169
5.5.7	Kanäle	. . . . .	171
5.6	Deadlock	. . . . .	172
5.7	Bewertung von Echtzeitleösungen	. . . . .	173
5.7.1	Strukturelle Analyse	. . . . .	173
5.7.2	Einfache messtechnische Analyse	. . . . .	175
5.7.3	Messung der Phasenreinheit und mittleren Verzögerung	. . . . .	176
5.8	Echtzeitkonforme Sensor-/Aktornetze	. . . . .	179
6	Modellbildung von Mehrkörpersystemen	. . . . .	182
6.1	Kinematik von Mehrkörpersystemen	. . . . .	183
6.1.1	Koordinatensysteme und Koordinatentransformationen	. . . . .	184
6.1.2	Beispiele für Rotationsmatrizen (Drehmatrizen)	. . . . .	186
6.1.3	Homogene Koordinaten und homogene Transformationen	. . . . .	191

6.1.4	Mechanische Ersatzsysteme mit Baumstruktur.	196
6.1.5	DENA-VIT-HARTENBERG-Notation (DH-Notation).	200
6.1.6	Direkte und inverse Kinematik.	203
6.1.7	Differenzielle Kinematik und JACOBI-Matrix.	207
6.2	Kinetik von Mehrkörpersystemen-.	212
6.2.1	Grundgleichungen für den starren Körper.	213
6.2.2	NEWTON-EULER-Methode.	215
6.2.3	LAGRANGE'sche Methode.	220
7	Trajektorienplanung	228
7.1	Kinematische Bahnplanung.	229
7.1.1	Beschreibung von Raumkurven.	230
7.1.2	Profile für die Bahngeschwindigkeit.	232
7.1.3	Generierung allgemeiner Trajektorien durch Interpolationspolynome.	234
7.1.4	Bahnplanung für redundante Systeme.	236
7.2	Trajektorienplanung und inverse Dynamik.	239
7.2.1	Parametrisierung der Bewegungsgleichungen.	240
7.2.2	Bemerkungen zur optimalen Trajektorienplanung.	244
8	Regelung mechatronischer Systeme	246
8.1	Linearisierung der Bewegungsgleichungen.	247
8.1.1	Zustandsraumbeschreibung linearer Systeme.	249
8.1.2	Andere Darstellungen linearer zeitinvarianter Systeme.	253
8.2	Regelungsentwurf für lineare Mehrgrößensysteme.	255
8.2.1	Struktur von Mehrgrößensystemen.	256
8.2.2	Lineare Mehrgrößensystemregelungen.	257
8.2.3	Regelungsentwurf durch Polzuweisung.	261
8.2.4	Polzuweisung für Regelstrecken mit einem Stelleingriff.	265
8.2.5	Modale Regelung.	269
8.2.6	Optimale lineare Regelung (LQ-Regelung).	270
8.2.7	Beobachterentwurf und Regelung.	277
8.3	Digitale Regelung (Abtastregelung).	279
8.3.1	Abtastung und Halteglied.	280
8.3.2	Zeitdiskrete Systeme im Zeitbereich.	281
8.3.3	Zeitdiskrete Systeme im Frequenzbereich.	288
8.3.4	Entwurf digitaler Regelungen.	293
8.4	Ausblick auf weitere Regelungsverfahren.	298
9	Ausgewählte Beispiele für mechatronische Systeme	305
9.1	Modellgestützte Regelung eines Industrieroboters.	305
9.1.1	Kinematisches Modell.	307
9.1.2	Dynamisches Modell.	310
9.1.3	Regelung.	314
9.2	Stabilisierung einer zweibeinigen Laufmaschine.	320
9.2.1	Einführende Übersicht.	321
9.2.2	Dynamisch stabiles Gehen.	323
9.2.3	Bahnplanung.	325
9.2.4	Ergebnisse.	329
9.2.5	Diskussion.	331

9.3	Magnetführung für Werkzeugmaschinen	332
9.3.1	Modellbildung	334
9.3.2	Freiheitsgrad-Regelung	339
9.3.3	Entkoppelte Kaskadenregelung	342
9.3.4	Messergebnisse	344
9.4	Semiaktives Motorlager	346
9.4.1	Modellbildung	349
9.4.2	Regelung	355
9.4.3	Ergebnisse	358
9.5	Unterdrückung von Bremsenquietschen durch beschaltete Piezoelemente	359
9.5.1	Shunt damping	360
9.5.2	Bremsenquietschen	366
9.5.3	Bremsenmodell	367
9.5.4	Messungen	371
A	Mathematische Grundlagen	374
A.1	LAPLACE- und FOURIER-Transformation	374
A.1.1	LAPLACE-Transformation	374
A.1.2	FOURIER-Transformation	375
A.2	Matrizenrechnung	377
A.2.1	Begriffe und einfache Rechenregeln	377
A.2.2	Eigenwerte, Eigenvektoren	378
A.2.3	Ähnlichkeitstransformation (Hauptachsentransformation)	379
A.2.4	Lineare Gleichungssysteme und Singulärwertzerlegung	381
A.3	Lineare, zeitinvariante dynamische Systeme	383
A.3.1	Fundamentalmatrix und ihre Eigenschaften	384
A.3.2	Modaltransformation	385
A.3.3	Steuerbarkeit und Beobachtbarkeit	385
	Literaturverzeichnis	387
	Sachwortverzeichnis	395