

Rolf Isermann

# Mechatronische Systeme

Grundlagen

Mit 213 Abbildungen



Springer

# Inhaltsverzeichnis

<b>Verzeichnis der Abkürzungen</b> .....	XIII
<b>1 Integrierte mechanisch-elektronische Systeme</b> .....	1
1.1 Vom mechanischen zum mechatronischen System.....	1
1.2 Mechanische Systeme .....	5
1.2.1 Mechanische Systeme des Maschinenwesens .....	6
1.2.2 Mechanische Systeme in der Feinwerktechnik .....	8
1.2.3 Mechanische Systeme im Apparatebau (Anlagetechnik).....	8
1.2.4 Eingrenzung mechatronischer Systeme .....	9
1.3 Funktionen mechatronischer Systeme.....	10
1.3.1 Konstruktion .....	10
1.3.2 Funktionsaufteilung Mechanik - Elektronik .....	10
1.3.3 Betriebseigenschaften .....	11
1.3.4 Neue Funktionen .....	12
1.3.5 Sonstige Entwicklungen.....	12
1.4 Integrationsformen von Prozeß und Elektronik .....	14
1.5 Arten der Informationsverarbeitung.....	15
1.5.1 Mehr-Ebenen-System.....	16
1.5.2 Signalvorverarbeitung .....	18
1.5.3 Informationsgewinnung .....	18
1.5.4 Modellgestützte Methoden der Regelung und Überwachung .....	20
1.5.5 Intelligente Systeme.....	21
1.6 Entwurfsschritte für mechatronische Systeme .....	23
1.7 Zum Inhalt dieses Buches .....	28
<b>2 Grundlagen der theoretischen Modellbildung technischer Prozesse</b> .....	31
2.1 Theoretische und experimentelle Modellbildung.....	31
2.2 Klassifikation von Prozebelementen .....	35
2.2.1 Materieformen.....	35

2.2.2 Hauptstrom und Nebenströme.....	36
2.2.3 Prozebelemente für konzentrierte Parameter .....	38
2.2.4 Prozebelemente für verteilte Parameter .....	44
2.3 Grundgleichungen für Prozebelemente mit Energie- und Materieströmen	45
2.3.1 Bilanzgleichungen.....	45
2.3.2 Konstitutive Gleichungen.....	49
2.3.3 Phänomenologische Gleichungen .....	67
2.4 Energiebilanzgleichungen für Prozesse mit konzentrierten Parametern ...	74
2.4.1 Energiebilanz bei mechanischen Systemen.....	74
2.4.2 Energiebilanz bei thermischen Systemen (feste Körper, Flüssigkeiten).....	79
2.4.3 Energiebilanz für Gase und Dämpfe .....	81
2.4.4 Energiebilanz bei elektrischen Systemen .....	86
2.4.5 Gemeinsame Eigenschaften der Bilanzgleichungen .....	87
2.5 Verschaltung von Prozebelementen .....	91
2.5.1 Knotengleichung und Umlaufgleichung .....	91
2.5.2 Zur Kausalität von Prozebelementen .....	95
2.6 Zusammenfassung.....	98
<b>3 Grundgleichungen für die Dynamik mechanischer Systeme mit bewegten Massen.....</b>	<b>101</b>
3.1 Newtonsche Grundgesetze der Kinetik .....	102
3.1.1 Translation .....	102
3.1.2 Rotation.....	103
3.2 Prinzipien der Mechanik .....	106
3.2.1 Das Prinzip von d'Alembert.....	106
3.2.2 Lagrangesche Gleichungen 2. Art.....	108
<b>4 Modelle mechanischer Bauelemente.....</b>	<b>113</b>
4.1 Stäbe.....	113
4.2 Federn .....	116
4.3 Dämpfer .....	119
4.3.1 Dämpfer mit trockener und viskoser Reibung .....	119
4.3.2 Feder-Dämpfer-Systeme .....	120
4.4 Lager .....	122
4.4.1 Gleitlager.....	123
4.4.2 Wälzlager .....	124
4.5 Einmassenschwinger (Feder-Masse-Dämpfer-Systeme).....	127
4.5.1 Längsschwinger .....	127
4.5.2 Drehschwinger .....	132

4.6	Mehrmassenschwinger .....	133
4.6.1	Zweimassen-Drehschwinger mit einer Feder .....	134
4.6.2	Zweimassen-Drehschwinger mit zwei Federn .....	140
4.6.3	Zweimassen-Drehschwinger mit Getriebe und einer Feder .....	142
4.6.4	Riemengetriebe .....	146
4.6.5	Tilger und Dämpfer .....	153
4.7	Mechanische Systeme mit Reibung .....	154
4.8	Mechanische Systeme mit Lose (Spiel) .....	158

**5 Modellbildung elektrischer Antriebe..... 161**

5.1	Bauarten elektrischer Antriebe .....	161
5.2	Elektromagnete .....	163
5.2.1	Bauformen von Elektromagneten .....	163
5.2.2	Magnetisches Feld .....	164
5.2.3	Statisches Verhalten von einfachen Magnetkreisen .....	166
5.2.4	Dynamisches Verhalten von einfachen Magnetkreisen .....	168
5.2.5	Statisches Verhalten von Elektromagneten .....	170
5.2.6	Dynamisches Verhalten von Elektromagneten und Positions-Regelung .....	173
5.3	Gleichstrommotoren .....	178
5.3.1	Induzierte Spannung .....	181
5.3.2	Drehmomenterzeugung .....	182
5.3.3	Dynamisches Verhalten .....	182
5.3.4	Statisches Verhalten .....	187
5.3.5	Drehzahl- und Positions-Regelung .....	189
5.3.6	Besondere Bauarten von Gleichstrommotoren .....	190
5.4	Drehstrommotoren .....	196
5.4.1	Asynchronmotoren .....	197
5.4.2	Synchronmotoren .....	199
5.5	Wechselstrommotoren .....	200
5.5.1	Kommutatormotoren (Universalmotoren) .....	200
5.5.2	Kurzschlußläufermotoren .....	201
5.6	Fremdgeführte und selbstgeführte Elektromotoren .....	203

**6 Modellbildung von Maschinen..... 205**

6.1	Kopplung von Maschinenelementen zu Maschinen .....	207
6.2	Kennlinien und Stabilität von Maschinen .....	213
6.3	Statisches Verhalten von Kraft- und Arbeitsmaschinen .....	222
6.4	Dynamisches Verhalten eines Motorenprüfstandes .....	227
6.5	Abhängigkeit des Verhaltens vom Betriebspunkt .....	233

6.5.1 Speicher ohne und mit Rückführung .....	233
6.5.2 Einstellung von Reglerparametern .....	235
<b>7 Identifikation dynamischer Systeme .....</b>	<b>237</b>
7.1 Identifikationsmethoden.....	237
7.1.1 Allgemeines Vorgehen.....	237
7.1.2 Klassifikation von Identifikationsmodellen .....	239
7.1.3 Identifikationsmethoden.....	239
7.1.4 Testsignale .....	242
7.1.5 Geschlossener Regelkreis.....	242
7.1.6 Art der Anwendung.....	243
7.2 Parameterschätzung für zeitdiskrete Signale.....	244
7.2.1 Methoden der kleinsten Quadrate (LS) .....	244
7.2.2 Rekursive Methode der kleinsten Quadrate .....	247
7.2.3 Modifikation der Methode der kleinsten Quadrate .....	248
7.3 Parameterschätzung für zeitkontinuierliche Signale .....	248
7.3.1 Methode der kleinsten Quadrate .....	248
7.4 Zeitvariante Systeme .....	251
7.5 Nichtlineare Prozesse .....	252
7.5.1 Parameterschätzung für stetig differenzierbare nichtlineare Prozesse	252
7.5.2 Künstliche neuronale Netze für stetig differenzierbare Prozesse.....	253
7.5.3 Kennfeld-Darstellungen für nichtlineares statisches Verhalten .....	262
7.5.4 Parameterschätzung für nicht stetig differenzierbare nichtlineare Prozesse (Reibung und Lose).....	268
<b>8 Modelle von Schwingungen und ihre Identifikation .....</b>	<b>273</b>
8.1 Harmonische Schwingungen.....	273
8.1.1 Einzelne Schwingungen.....	273
8.1.2 Superposition .....	274
8.1.3 Amplitudenmodulation .....	274
8.1.4 Frequenz- und Phasenmodulation .....	275
8.1.5 Schwebung .....	275
8.1.6 Superposition und nichtlineare Kennlinien .....	278
8.2 Identifikation harmonischer Schwingungen .....	279
8.2.1 Bandpaßfilter.....	280
8.2.2 Fourieranalyse .....	280
8.2.3 Korrelationsfunktionen .....	280
8.2.4 Fourier-Transformation .....	281
8.2.5 Schnelle Fourier-Transformation (FFT).....	283
8.2.6 Maximum-Entropie Spektralschätzung.....	288

<b>9 Sensoren</b> .....	294
9.1 Meßkette .....	294
9.2 Klassifikation von Sensoren .....	295
9.3 Eigenschaften von Sensoren .....	297
9.4 Signalformen, Meßumformer, Meßverstärker .....	298
9.5 Wegmessung .....	299
9.6 Geschwindigkeitsmessung .....	302
9.7 Beschleunigungsmessung .....	303
9.8 Schwingungsmessung .....	303
9.9 Kraft- und Druckmessung .....	304
9.10 Drehmomentmessung .....	304
9.11 Temperaturmessung .....	305
9.12 Analog-Digital-Wandlung .....	306
9.13 Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) .....	306
9.14 Integrierte und intelligente Sensorik .....	307
<b>10 Aktoren</b> .....	310
10.1 Grundstrukturen von Aktoren .....	311
10.2 Übersicht der Aktoren .....	314
10.2.1 Art der Hilfsenergie .....	314
10.2.2 Art des Übertragungsverhaltens .....	316
10.2.3 Anforderungen an Aktoren und Servoantriebe .....	320
10.3 Elektromechanische Stellantriebe .....	320
10.4 Fluidtechnische Stellantriebe .....	326
10.5 Unkonventionelle Stellantriebe .....	330
10.6 Vergleich der Anwendungsbereiche .....	333
10.7 Aktoren als Systemkomponenten .....	336
10.7.1 Schnittstellen .....	336
10.7.2 Bauliche Integration mit dem Prozeß .....	337
10.7.3 Ausgeführte Funktionen .....	337
10.7.4 Maßnahmen zur Erhöhung der Zuverlässigkeit .....	337
<b>11 Mikrorechner</b> .....	339
11.1 Aufbau eines Mikrorechners .....	341
11.2 Standardprozessoren .....	342
11.2.1 Architektur von Standardprozessoren .....	345
11.2.2 Software für Standardprozessoren .....	349
11.3 Speicher .....	350
11.4 Schnittstellen zum Prozeß (Prozeßperipherie) .....	354

11.4.1 Analoge Eingaben .....	355
11.4.2 Digitale und binäre Eingaben.....	357
11.4.3 Analoge Ausgaben .....	358
11.4.4 Digitale und binäre Ausgaben.....	359
11.5 Mikrocontroller .....	359
11.5.1 Architektur von Mikrocontrollern.....	360
11.5.2 Software für Mikrocontroller .....	363
11.6 Signalprozessoren .....	364
11.7 Transputer .....	366
11.8 Anwendungsspezifische Prozessoren (ASIC).....	370
11.9 Feldbussysteme .....	371
11.9.1 Netztopologien .....	373
11.9.2 Busgrundfunktionen.....	374
11.9.3 OSI (Open System Interconnection) – Referenzmodell.....	374
11.9.4 Der Profibus .....	377
11.9.5 Der CAN-Bus.....	380
<b>Ausblick.....</b>	<b>384</b>
<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>386</b>
<b>Sachverzeichnis.....</b>	<b>401</b>