

Werner Roddeck

Einführung in die Mechatronik

Werner Roddeck

Einführung in die Mechatronik

2., neubearbeitete Auflage

Mit 452 Abbildungen und 9 Tabellen



Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek
Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie;
detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <<http://dnb.ddb.de>> abrufbar.

Prof. Dr.-Ing. Werner Roddeck lehrt am Fachbereich Mechatronik und Maschinenbau an der Fachhochschule Bochum.

1. Auflage 1997
2., neubearbeitete Auflage Januar 2003

Alle Rechte vorbehalten
© Springer Fachmedien Wiesbaden 2003
Ursprünglich erschienen bei B. G. Teubner GmbH, Stuttgart/Leipzig/Wiesbaden, 2003
www.teubner.de



Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Umschlaggestaltung: Ulrike Weigel, www.CorporateDesignGroup.de

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier.

ISBN 978-3-519-16357-2 ISBN 978-3-322-91180-3 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-322-91180-3

Vorwort

Der Begriff Mechatronik (engl. mechatronics) ist ein Kunstwort und wurde vor ca. 30 Jahren in Japan von einem Entwickler aus dem Bereich der Robotertechnik geprägt. Er setzt sich aus den beiden Namen der bekannten Disziplinen der Ingenieurwissenschaften - Mechanik oder Maschinenwesen (engl. mechanics) und Elektronik (engl. electronics) - zusammen. In den letzten 10 Jahren ist er auch in Deutschland in aller Munde und vor 9 Jahren wurde der erste Studiengang mit dem Abschluss „Dipl.-Ing. Mechatronik“ an der Fachhochschule Bochum eröffnet. Diesem Beispiel sind inzwischen viele Hochschulen gefolgt, indem sie Studiengänge „Mechatronik“ oder Studienrichtungen mit entsprechenden Studienanteilen einrichteten. Seit einigen Jahren ist der „Mechatroniker“ auch ein anerkannter Ausbildungsberuf, was die Nachfrage der Fachdisziplin „Mechatronik“ in der Industrie dokumentiert.

Die Notwendigkeit für diese neue Disziplin der Ingenieurwissenschaften ergibt sich aus der immer weiter zunehmenden Durchdringung maschinenbaulicher Produkte mit Anteilen aus dem Bereich der Elektrotechnik und der Informatik. Dabei werden nicht nur einzelne Komponenten konventioneller Produkte ersetzt, sondern die Entwicklung folgt einem ganz neuen Denkansatz. Man versucht, das Gesamtsystem zu verstehen und zu modellieren und wählt dann für die verschiedenen Teilsysteme solche Komponenten und Methoden aus, die zu einfacheren, preiswerteren und funktionaleren Gesamtsystemen führen. Dies ist nur dann möglich, wenn Produktentwickler fachübergreifende Kenntnisse aus allen genannten Bereichen der Ingenieurwissenschaften besitzen.

Im Prinzip sind alle Methoden und Komponenten, die in der Mechatronik eingesetzt werden, als Teilgebiete bereits bekannt und es gibt darüber umfangreiche Spezialliteratur. Bei Erscheinen der 1. Auflage dieses Buches fehlte jedoch eine Gesamtschau der Mechatronik, die die Teilgebiete in einen Zusammenhang setzte. Diese Lücke will das vorliegende Buch schließen und ist dabei so gestaltet, dass es von vielen Technikern und Ingenieuren sowohl im Studium, als auch in der Berufspraxis verwendet werden kann. Es behandelt das Thema beginnend mit den erforderlichen Analyse- und Synthesemethoden von Systemen, über die Beschreibung einsetzbarer Systemkomponenten bis zur Darstellung ausgeführter Beispiele für mechatronische Systeme.

Da die Mechatronik ein sehr umfangreiches Wissensgebiet umspannt, können natürlich im Rahmen eines solchen Buches nicht alle Grundlagen behandelt werden. So sollten dem Leser mathematische Methoden wie die Differential-, Integral- und Matrizenrechnung bekannt sein. Ebenso sind grundlegende Kenntnisse der Physik in den Bereichen Mechanik und Elektrotechnik erforderlich. Aufgrund der Stofffülle können manche Themen nur angerissen werden, so dass der Leser im Bedarfsfall das entsprechende Wissen anhand der angeführten Literatur vertiefen muss.

Die behandelte Themenstellung erstreckt sich über viele Fachgebiete. Daher kann der Autor natürlich nicht Spezialist für einzelne Themen sein. Ich bitte deshalb schon jetzt

die Fachleute einzelner Fachgebiete, denen die Darstellung ihres Spezialgebietes zu kurz oder zu oberflächlich erscheint, um Nachsicht, da ich zugunsten der Gesamtschau an vielen Stellen Kompromisse eingehen musste.

Im übrigen bin ich den Kollegen, Mitarbeitern und Studierenden an der Fachhochschule Bochum dankbar, die mich mit Anregungen, Beispielen und Material zu bestimmten Themen unterstützt haben. Durch die Diskussion mit Ihnen und durch die gemeinschaftliche Weiterentwicklung mechatronischer Studiengänge an der Fachhochschule Bochum konnte diese 2. Auflage gegenüber der 1. Auflage noch klarer strukturiert und den Erfordernissen eines Mechatronik-Studiums angepasst werden.

Meiner Frau Renate bin ich zu großem Dank verpflichtet, die mir durch Ihre Unterstützung die Zeit für die Fertigstellung dieses Buches freimachte. Herrn Dr. M. Feuchte vom Teubner-Verlag danke ich für die gute Zusammenarbeit und die Geduld während der Fertigstellung der Druckvorlage.

Witten, Herbst 2002

Werner Roddeck

Inhalt

1	Einleitung	1
1.1	Entwicklung von Maschinenbau und Elektrotechnik	1
1.2	Entwicklung der Technik am Beispiel der Werkzeugmaschine	4
1.3	Mechatronik als neues Bindeglied	6
1.4	Maschinenbau und Elektrotechnik - grundsätzlich verschieden?	8
1.5	Unterschiede zwischen Maschinenbau, Elektrotechnik und Mechatronik	16
1.6	Teilgebiete der Mechatronik	20
2	Modellbildung technischer Systeme	24
2.1	Systembegriff	24
2.2	Verfahren der Modellbildung	27
2.2.1	Theoretische Modellbildung	28
2.2.1.1	Allgemein bekannte Modellvorstellungen	28
2.2.1.2	Vorgehensweise bei der Modellbildung	30
2.3	Klassifizierung dynamischer Systeme	37
2.4	Modellierung von Geometrie und Körpereigenschaften	39
2.4.1	Mehrkörpersysteme	40
2.4.2	Systeme mit elastischen Elementen	42
2.5	Modellierung elektrischer Komponenten	43
3	Dynamik mechanischer Systeme	48
3.1	Kinematik des Massenpunktes	48
3.2	Kinematik des starren Körpers	51
3.2.1	Die ebene Bewegung des starren Körpers	51
3.2.2	Die ebene Relativbewegung eines Punktes	57
3.2.3	Die Bewegung des starren Körpers im Raum	59
3.2.3.1	Rotation im Raum	60
3.2.3.2	Relativbewegung eines Punktes des starren Körpers	62
3.2.3.3	Darstellung der Bewegung des starren Körpers in Matrizenschreibweise	63
3.3	Bindungen in Mehrkörpersystemen	74
3.4	Kinetik	85
3.4.1	Impuls-, Schwerpunkt- und Drallsatz	86
3.4.2	Energiesatz	94
3.4.3	Die Prinzipien der Mechanik	96
3.4.3.1	Prinzip der virtuellen Arbeit	97
3.4.3.2	Lagrangesche Bewegungsgleichungen	102
4	Schwingungen	108
4.1	Einmassenschwinger	108

4.1.1	Freie ungedämpfte Schwingungen	110
4.1.2	Freie gedämpfte Schwingungen	112
4.1.3	Erzwungene Schwingungen	115
4.1.3.1	Nichtperiodische Erregung	116
4.1.3.2	Harmonische Erregung	118
4.1.4	Nichtlineare Schwinger	123
4.2	Mehrmassenschwinger	125
4.3	Schwingungsanalyse	132
4.3.1	Reelle Form der Fourier-Reihe	134
4.3.2	Komplexe Form der Fourier-Reihe	138
4.3.3	Fourier-Transformation nichtperiodischer Funktionen	139
4.3.4	Diskrete Fourier-Transformation zur Analyse von Abtastsignalen	142
5	Sensoren	148
5.1	Messtechnik	151
5.1.1	Messgrößen und Maßeinheiten	151
5.1.2	Messgrößenaufnehmer und Messwertwandler	153
5.1.3	Kenngößen von Messeinrichtungen	155
5.1.3.1	Statische Kenngößen	156
5.1.3.2	Dynamische Kenngößen	158
5.1.3.3	Fehlerkenngößen	160
5.2	Messeffekte	164
5.2.1	Widerstandseffekte	166
5.2.1.1	Ohmsche Widerstandseffekte	166
5.2.1.2	Piezowiderstandseffekt	169
5.2.2	Magnetische Effekte	170
5.2.2.1	Induktionsprinzip	170
5.2.2.2	Galvanomagnetische Effekte	171
5.2.2.3	Magnetoelastische Effekte	173
5.2.3	Kapazitive Effekte	173
5.2.4	Piezo- und Pyroelektrische Effekte	174
5.2.5	Optische Effekte	175
5.3	Sensoren für mechatronische Systeme	178
5.3.1	Bewegungssensoren	178
5.3.1.1	Positionssensoren	179
5.3.1.2	Geschwindigkeitssensoren	186
5.3.1.3	Beschleunigungssensoren	189
5.3.2	Kraft- und Momentensensoren	191
6	Aktoren	194
6.1	Klassische Aktoren	196
6.1.1	Elektromotorische, rotierende Antriebe	196
6.1.1.1	Gleichstrommotoren	198
6.1.1.2	Drehfeldmotoren	209

6.1.1.3	Asynchronmotoren	211
6.1.1.4	Schrittmotoren	217
6.1.2	Elektromotorische Linearantriebe	218
6.1.3	Fluidische Aktoren	220
6.1.3.1	Pneumatische Aktoren	220
6.1.3.2	Hydraulische Aktoren	221
6.1.3.3	Geschwindigkeitsverstellung von hydraulischen Aktoren	224
6.2	Neuartige Aktoren	228
7	Prozessdatenverarbeitung und Regelungstechnik	238
7.1	Automatisierungskonzepte	238
7.1.1	Intelligente Maschinen	240
7.1.2	Steuerung und Regelung	242
7.1.3	Schlussfolgern und regelbasiertes Wissen	244
7.1.4	Autonome intelligente Agenten	245
7.1.5	Lernen und Mustererkennung	246
7.1.6	Architektur intelligenter Maschinen	247
7.1.6.1	Hierarchien	248
7.1.6.2	Netzwerke	249
7.1.6.3	Schichtarchitekturen	255
7.2	Steuerungstechnik	256
7.2.1	Boole'sche Algebra	259
7.2.1.1	Kombinatorische Steuerungen	263
7.2.1.2	Sequentielle Steuerungen	265
7.2.2	Probleme der Modellbildung digitaler Systeme	269
7.2.3	Mehrwertige und unscharfe Logik (Fuzzy Logic)	272
7.2.3.1	Fuzzy Mengen	273
7.2.3.2	Fuzzy- Inferenz	281
7.2.4	Neuronale Netzwerke	288
7.2.4.1	McCulloch-Pitts-Neuron	290
7.2.4.2	Perceptron	291
7.2.4.3	Backpropagation-Netzwerk	294
7.3	Regelungstechnik	297
7.3.1	Beschreibung und Analyse regelungstechnischer Systeme	298
7.3.1.1	Systembeschreibungen	300
7.3.1.2	Blockschaltbilder	308
7.3.1.3	Frequenzgang und Ortskurve	315
7.3.1.4	Verschiedenartige Übertragungssysteme	317
7.3.1.5	Frequenzkennlinien	324
7.3.1.6	Zustandsraumdarstellung	331
7.3.1.7	Regler	336
7.3.1.8	Stabilität von Regelkreisen	342
7.3.1.9	Systemidentifikation	356
7.3.2	Synthese von Regelkreisen	361
7.3.2.1	Spezifikationen	361
7.3.2.2	Einstellregeln	364

	7.3.2.3 Mehrschleifige Regelkreise	367
7.4	Prozessdatenverarbeitung mit Mikrorechnern	371
	7.4.1 Mikrorechner	372
	7.4.1.1 Aufbau von Mikrorechnern	373
	7.4.1.2 Software für Mikrorechner	383
	7.4.2 Anwendungsspezifische Prozessoren und Bauelemente	383
8	Simulation	387
	8.1 Numerische Integration	389
	8.2 Simulationssysteme	395
	8.2.1 Simulationssprachen	395
	8.2.2 Simulation elektrischer Schaltungen	395
	8.2.3 Simulation mechanischer Systeme	397
	8.2.4 Modellbeschreibung mit Blockschaltbild-Editoren	397
	8.2.5 Objektorientierte Modellbildung	404
	8.2.6 Hardware-in-the-Loop, Software-in-the-Loop	415
	8.2.6.1 Hardware-in-the-Loop	415
	8.2.6.2 Software-in-the-Loop	415
	8.2.6.3 Kopplung von Modellen und Prototypen	415
	8.2.7 Simulationssysteme für Industrieroboter	416
9	Mechatronische Systeme	420
	9.1 Wann ist der Einsatz der Mechatronik sinnvoll?	420
	9.2 Mechatronische Teilsysteme	423
	9.2.1 Magnetlager	423
	9.2.2 Aktives Fahrwerk	428
	9.2.2.1 Aktive Federung mit Hydrozylinder	430
	9.2.2.2 Aktive Federung mit Hydrozylinder und aktivem Tilger	432
	9.2.3 Mechatronische Anwendungen bei Industrierobotern	435
	9.2.3.1 Nachführen eines Roboterarms an einer Freiformfläche	436
	9.2.3.2 Zusätzliche Bewegungsachsen für Industrieroboter	441
	9.3 Mechatronische Gesamtsysteme	448
	9.3.1 Hexapodenkonzepte	448
	9.3.2 Fahrrad mit aktiver Neigetechnik	451
	Literaturverzeichnis	458
	Sachregister	464