

Inhalt

1	Einleitung	
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	21
2	Modellbildung technischer Systeme	25
2.1	Systembegriff	25
2.2	Verfahren der Modellbildung	28
2.2.1	Theoretische Modellbildung	30
2.2.1.1	Allgemein bekannte Modellvorstellungen	30
2.2.1.2	Vorgehensweise bei der Modellbildung	31
2.3	Klassifizierung dynamischer Systeme	38
2.4	Modellierung von Geometrie und Körpereigenschaften	41
2.4.1	Mehrkörpersysteme	41
2.4.2	Systeme mit elastischen Elementen	43
2.5	Modellierung elektrischer Komponenten	45
3	Dynamik mechanischer Systeme	50
3.1	Kinematik des Massenpunktes	50
3.2	Kinematik des starren Körpers	53
3.2.1	Die ebene Bewegung des starren Körpers	53
3.2.2	Die ebene Relativbewegung eines Punktes	59
3.2.3	Die Bewegung des starren Körpers im Raum	61
3.2.3.1	Rotation im Raum	62
3.2.3.2	Relativbewegung eines Punktes des starren Körpers	64
3.2.3.3	Darstellung der Bewegung des starren Körpers in Matrizenschreibweise	66
3.3	Bindungen in Mehrkörpersystemen	77
3.4	Kinetik	88
3.4.1	Impuls-, Schwerpunkt- und Drallsatz	88
3.4.2	Energiesatz	97
3.4.3	Die Prinzipien der Mechanik	100
3.4.3.1	Prinzip der virtuellen Arbeit	100
3.4.3.2	Lagrange'sche Bewegungsgleichungen	105
4	Schwingungen	112
4.1	Einmassenschwinger	112
4.1.1	Freie ungedämpfte Schwingungen	114
4.1.2	Freie gedämpfte Schwingungen	116
4.1.3	Erzwungene Schwingungen	120
4.1.3.1	Nichtperiodische Erregung	121
4.1.3.2	Harmonische Erregung	122
4.1.4	Nichtlineare Schwinger	128
4.2	Mehrmassenschwinger	130
4.3	Schwingungsanalyse	138
4.3.1	Reelle Form der Fourier-Reihe	140
4.3.2	Komplexe Form der Fourier-Reihe	144
4.3.3	Fourier-Transformation nichtperiodischer Funktionen	146
4.3.4	Diskrete Fourier-Transformation zur Analyse von Abtastsignalen	148

5	Sensoren	157
5.1	Messtechnik	160
5.1.1	Messgrößen und Maßeinheiten	160
5.1.2	Messgrößenaufnehmer und Messwertwandler	162
5.1.2.1	Messwertanpassung	164
5.1.2.2	Analog-/Digital-Wandler	167
5.1.3	Kenngößen von Messeinrichtungen	169
5.1.3.1	Statische Kenngößen	169
5.1.3.2	Dynamische Kenngößen	171
5.1.3.3	Fehlerkenngößen	173
5.2	Messeffekte	177
5.2.1	Widerstandseffekte	180
5.2.1.1	Ohmsche Widerstandseffekte	180
5.2.1.2	Piezowiderstandseffekt	183
5.2.2	Magnetische Effekte	184
5.2.2.1	Induktionsprinzip	184
5.2.2.2	Galvanomagnetische Effekte	185
5.2.2.3	Magnetoelastische Effekte	187
5.2.3	Kapazitive Effekte	188
5.2.4	Piezo- und Pyroelektrische Effekte	189
5.2.5	Optische Effekte	190
5.3	Sensoren für mechatronische Systeme	193
5.3.1	Bewegungssensoren	194
5.3.1.1	Positionssensoren	194
5.3.1.2	Geschwindigkeitssensoren	204
5.3.1.3	Beschleunigungssensoren	206
5.3.2	Kraft- und Momentensensoren	209
6	Aktoren	212
6.1	Klassische Aktoren	214
6.1.1	Elektromotorische, rotierende Antriebe	214
6.1.1.1	Gleichstrommotoren	216
6.1.1.2	Drehfeldmotoren	227
6.1.1.3	Asynchronmotoren	229
6.1.1.4	Schrittmotoren	234
6.1.2	Elektromotorische Linearantriebe	236
6.1.3	Fluidische Aktoren	238
6.1.3.1	Pneumatische Aktoren	238
6.1.3.2	Hydraulische Aktoren	239
6.1.3.3	Geschwindigkeitsverstellung von hydraulischen Aktoren	242
6.2	Neuartige Aktoren	248
6.2.1	Piezoelektrische Aktoren	250
6.2.2	Aktoren aus Formgedächtnislegierungen	253
6.2.3	Dehnstoffaktoren	256
6.2.4	Mikrostrukturierte Aktoren	257
7	Automatisierungstechnik	260
7.1	Automatisierungskonzepte	260
7.1.1	Intelligente Maschinen	262
7.1.2	Steuerung und Regelung	264
7.1.3	Schlussfolgern und regelbasiertes Wissen	266
7.1.4	Autonome intelligente Agenten	267
7.1.5	Lernen und Mustererkennung	268
7.1.6	Architektur intelligenter Maschinen	269
7.1.6.1	Hierarchien	270
7.1.6.2	Netzwerke	271

	7.1.6.3 Schichtarchitekturen	277
7.2	Steuerungstechnik	278
	7.2.1 Boole'sche Algebra	281
	7.2.1.1 Kombinatorische Steuerungen	285
	7.2.1.2 Sequentielle Steuerungen	288
	7.2.2 Probleme der Modellbildung digitaler Systeme	291
	7.2.3 Mehrwertige und unscharfe Logik (Fuzzy Logic)	294
	7.2.4 Neuronale Netzwerke	299
	7.2.4.1 McCulloch-Pitts-Neuron	301
	7.2.4.2 Perceptron	302
	7.2.4.3 Backpropagation-Netzwerk	305
7.3	Regelungstechnik	307
	7.3.1 Beschreibung und Analyse regelungstechnischer Systeme	308
	7.3.1.1 Laplace-Transformation	310
	7.3.1.2 Blockschaltbilder	318
	7.3.1.3 Frequenzgang und Ortskurve	324
	7.3.1.4 Verschiedenartige Übertragungssysteme	327
	7.3.1.5 Frequenzkennlinien	333
	7.3.1.6 Zustandsraumdarstellung	340
	7.3.1.7 Regler	345
	7.3.1.8 Stabilität von Regelkreisen	352
	7.3.1.9 Systemidentifikation	365
	7.3.2 Synthese von Regelkreisen	370
	7.3.2.1 Spezifikationen	371
	7.3.2.2 Einstellregeln	373
	7.3.2.3 Mehrschleifige Regelkreise	376
7.4	Prozessdatenverarbeitung mit Mikrorechnern	380
	7.4.1 Mikrorechner	381
	7.4.1.1 Aufbau von Mikrorechnern	382
	7.4.1.2 Software für Mikrorechner	392
	7.4.2 Anwendungsspezifische Prozessoren und Bauelemente	393
8	Simulation	397
8.1	Numerische Integration	399
8.2	Modellbildung mit Bondgraphen	407
	8.2.1 Elemente von Bondgraphen	408
	8.2.2 1-Port Bauelemente	412
	8.2.2.1 1-Port R-Elemente	412
	8.2.2.2 1-Port C-Elemente	413
	8.2.2.3 1-Port I-Elemente	414
	8.2.2.4 1-Port Quellen	415
	8.2.3 2-Port Bauelemente	416
	8.2.3.1 2-Port Transformer	416
	8.2.3.2 2-Port Gyrator	417
	8.2.4 Multi-Ports	418
	8.2.5 Erstellung von Modellen komplexerer Systeme	420
8.3	Simulationssysteme	422
	8.3.1 Simulationssprachen	422
	8.3.2 Simulation elektrischer Schaltungen	423
	8.3.3 Simulation mechanischer Systeme	424
	8.3.4 Modellbeschreibung mit Blockschaltbild-Editoren	425
	8.3.5 Objektorientierte Modellbildung	430
	8.3.5.1 2D-Sim	431
	8.3.5.2 CAMEL-View	436
	8.3.6 Hardware-in-the-Loop, Software-in-the-Loop	438
	8.3.6.1 Hardware-in-the-Loop	439
	8.3.6.2 Software-in-the-Loop	439

8.3.6.3	Kopplung von Modellen und Prototypen	439
8.3.7	Simulationssysteme für Industrieroboter	440
9	Mechatronische Systeme	443
9.1	Wann ist der Einsatz der Mechatronik sinnvoll?	443
9.2	Entwicklung mechatronischer Systeme	446
9.3	Mechatronische Teilsysteme	455
9.3.1	Magnetlager	456
9.3.2	Anti-Blockier-System (ABS)	461
9.3.3	Aktives Fahrwerk	463
9.3.3.1	Aktive Federung mit Hydrozylinder	465
9.3.3.2	Aktive Federung mit Hydrozylinder und aktivem Tilger	466
9.3.4	Mechatronische Anwendungen bei Industrierobotern	470
9.3.4.1	Nachführen eines Roboterarms an einer Freiformfläche	471
9.3.4.2	Zusätzliche Bewegungsachsen für Industrieroboter	476
9.4	Mechatronische Gesamtsysteme	483
9.4.1	Hexapodenkonzepte	483
9.4.2	Fahrrad mit aktiver Neigetechnik	486
	Literaturverzeichnis	493
	Sachwortverzeichnis	497