

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	21
2	Modellbildung technischer Systeme	25
2.1	Systembegriff	25
2.2	Verfahren der Modellbildung	28
2.2.1	Theoretische Modellbildung	29
2.2.1.1	Allgemein bekannte Modellvorstellungen	29
2.2.1.2	Vorgehensweise bei der Modellbildung	31
2.3	Klassifizierung dynamischer Systeme	38
2.4	Modellierung von Geometrie und Körpereigenschaften	40
2.4.1	Mehrkörpersysteme	41
2.4.2	Systeme mit elastischen Elementen	43
2.5	Modellierung elektrischer Komponenten	44
3	Dynamik mechanischer Systeme	49
3.1	Kinematik des Massenpunktes	49
3.2	Kinematik des starren Körpers	52
3.2.1	Die ebene Bewegung des starren Körpers	52
3.2.2	Die ebene Relativbewegung eines Punktes	58
3.2.3	Die Bewegung des starren Körpers im Raum	60
3.2.3.1	Rotation im Raum	61
3.2.3.2	Relativbewegung eines Punktes des starren Körpers	63
3.2.3.3	Darstellung der Bewegung des starren Körpers in Matrizenschreibweise	64
3.3	Bindungen in Mehrkörpersystemen	75
3.4	Kinetik	86
3.4.1	Impuls-, Schwerpunkt- und Drallsatz	86
3.4.2	Energiesatz	94
3.4.3	Die Prinzipien der Mechanik	97
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	133
	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	141
5	Sensoren	148
5.1	Messtechnik	151
	5.1.1 Messgrößen und Maßeinheiten	151
	5.1.2 Messgrößenaufnehmer und Messwertwandler	153
	5.1.2.1 Messwertanpassung	155
	5.1.2.2 Analog-/Digital-Wandler	157
	5.1.3 Kenngrößen von Messeinrichtungen	159
	5.1.3.1 Statische Kenngrößen	160
	5.1.3.2 Dynamische Kenngrößen	162
	5.1.3.3 Fehlerkenngrößen	164
5.2	Messeffekte	167
	5.2.1 Widerstandseffekte	170
	5.2.1.1 Ohmsche Widerstandseffekte	170
	5.2.1.2 Piezowiderstandseffekt	172
	5.2.2 Magnetische Effekte	173
	5.2.2.1 Induktionsprinzip	173
	5.2.2.2 Galvanomagnetische Effekte	175
	5.2.2.3 Magnetoelastische Effekte	177
	5.2.3 Kapazitive Effekte	177
	5.2.4 Piezo- und Pyroelektrische Effekte	178
	5.2.5 Optische Effekte	179
5.3	Sensoren für mechatronische Systeme	182
	5.3.1 Bewegungssensoren	182
	5.3.1.1 Positionssensoren	182
	5.3.1.2 Geschwindigkeitssensoren	190
	5.3.1.3 Beschleunigungssensoren	192
	5.3.2 Kraft- und Momentensensoren	195
6	Aktoren	198
6.1	Klassische Aktoren	200
	6.1.1 Elektromotorische, rotierende Antriebe	200
	6.1.1.1 Gleichstrommotoren	202
	6.1.1.2 Drehfeldmotoren	213
	6.1.1.3 Asynchronmotoren	214
	6.1.1.4 Schrittmotoren	220
	6.1.2 Elektromotorische Linearantriebe	222
	6.1.3 Fluidische Aktoren	223

6.1.3.1	Pneumatische Aktoren	224
6.1.3.2	Hydraulische Aktoren	224
6.1.3.3	Geschwindigkeitsverstellung von hydraulischen Aktoren	228
6.2	Neuartige Aktoren	233
7	Automatisierungstechnik	244
7.1	Automatisierungskonzepte	244
7.1.1	Intelligente Maschinen	246
7.1.2	Steuerung und Regelung	248
7.1.3	Schlussfolgern und regelbasiertes Wissen	250
7.1.4	Autonome intelligente Agenten	251
7.1.5	Lernen und Mustererkennung	252
7.1.6	Architektur intelligenter Maschinen	253
7.1.6.1	Hierarchien	254
7.1.6.2	Netzwerke	255
7.1.6.3	Schichtarchitekturen	261
7.2	Steuerungstechnik	261
7.2.1	Boole'sche Algebra	265
7.2.1.1	Kombinatorische Steuerungen	268
7.2.1.2	Sequentielle Steuerungen	271
7.2.2	Probleme der Modellbildung digitaler Systeme	275
7.2.3	Mehrwertige und unscharfe Logik (Fuzzy Logic)	277
7.2.3.1	Fuzzy Mengen	278
7.2.3.2	Fuzzy- Inferenz	286
7.2.4	Neuronale Netzwerke	293
7.2.4.1	McCulloch-Pitts-Neuron	295
7.2.4.2	Perceptron	296
7.2.4.3	Backpropagation-Netzwerk	299
7.3	Regelungstechnik	301
7.3.1	Beschreibung und Analyse regelungstechnischer Systeme	302
7.3.1.1	Systembeschreibungen	304
7.3.1.2	Blockschaltbilder	312
7.3.1.3	Frequenzgang und Ortskurve	318
7.3.1.4	Verschiedenartige Übertragungssysteme	320
7.3.1.5	Frequenzkennlinien	327
7.3.1.6	Zustandsraumdarstellung	334
7.3.1.7	Regler	338
7.3.1.8	Stabilität von Regelkreisen	345
7.3.1.9	Systemidentifikation	358
7.3.2	Synthese von Regelkreisen	363
7.3.2.1	Spezifikationen	364
7.3.2.2	Einstellregeln	366
7.3.2.3	Mehrschleifige Regelkreise	369
7.4	Prozessdatenverarbeitung mit Mikrorechnern	373
7.4.1	Mikrorechner	374
7.4.1.1	Aufbau von Mikrorechnern	375
7.4.1.2	Software für Mikrorechner	384
7.4.2	Anwendungsspezifische Prozessoren und Bauelemente	385

X		Inhalt
8	Simulation	389
8.1	Numerische Integration	391
8.2	Modellbildung mit Bond-Graphen	397
8.2.1	Elemente von Bond_Graphen	397
8.2.1.1	Träge Komponenten	399
8.2.1.2	Kapazitive Komponenten	400
8.2.1.3	Resistive Komponenten	401
8.2.1.4	Transformer und Gyratoren	401
8.2.1.5	Quellen	402
8.2.1.6	Verzweigungen von Effort und Flow	402
8.2.2	Zusammenführung elementarer Komponenten zu Systemen	403
8.3	Simulationssysteme	406
8.3.1	Simulationssprachen	406
8.3.2	Simulation elektrischer Schaltungen	406
8.3.3	Simulation mechanischer Systeme	408
8.3.4	Modellbeschreibung mit Blockschaltbild-Editoren	408
8.3.5	Objektorientierte Modellbildung	415
8.3.5.1	Dymola	416
8.3.5.2	BondSim	419
8.3.5.3	CAMel-View	421
8.3.6	Hardware-in-the-Loop, Software-in-the-Loop	425
8.3.6.1	Hardware-in-the-Loop	425
8.3.6.2	Software-in-the-Loop	426
8.3.6.3	Kopplung von Modellen und Prototypen	426
8.3.7	Simulationssysteme für Industrieroboter	427
9	Mechatronische Systeme	430
9.1	Wann ist der Einsatz der Mechatronik sinnvoll?	430
9.2	Entwicklung mechatronischer Systeme	433
9.3	Mechatronische Teilsysteme	441
9.3.1	Magnetlager	442
9.3.2	Aktives Fahrwerk	446
9.3.2.1	Aktive Federung mit Hydrozylinder	448
9.3.2.2	Aktive Federung mit Hydrozylinder und aktivem Tilger	450
9.3.3	Mechatronische Anwendungen bei Industrierobotern	453
9.3.3.1	Nachführen eines Roboterarms an einer Freiformfläche	454
9.3.3.2	Zusätzliche Bewegungsachsen für Industrieroboter	459
9.4	Mechatronische Gesamtsysteme	466
9.4.1	Hexapodenkonzepte	466
9.4.2	Fahrrad mit aktiver Neigetechnik	470
	Literaturverzeichnis	476
	Sachregister	478