

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	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	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 Matrizenbeschreibweise	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	140
4.3.4	Diskrete Fourier-Transformation zur Analyse von Abtastsignalen	142
5	Sensoren	150
5.1	Messtechnik	153
5.1.1	Messgrößen und Maßeinheiten	153
5.1.2	Messgrößenaufnehmer und Messwertwandler	155
5.1.2.1	Messwertanpassung	157
5.1.2.2	Analog-/Digital-Wandler	159
5.1.3	Kenngrößen von Messeinrichtungen	161
5.1.3.1	Statische Kenngrößen	162
5.1.3.2	Dynamische Kenngrößen	164
5.1.3.3	Fehlerkenngrößen	166
5.2	Messeffekte	169
5.2.1	Widerstandseffekte	172
5.2.1.1	Ohmsche Widerstandseffekte	172
5.2.1.2	Piezowiderstandseffekt	174
5.2.2	Magnetische Effekte	175
5.2.2.1	Induktionsprinzip	175
5.2.2.2	Galvanomagnetische Effekte	177
5.2.2.3	Magnetoelastische Effekte	179
5.2.3	Kapazitive Effekte	179
5.2.4	Piezo- und Pyroelektrische Effekte	180
5.2.5	Optische Effekte	181
5.3	Sensoren für mechatronische Systeme	184
5.3.1	Bewegungssensoren	184
5.3.1.1	Positionssensoren	184
5.3.1.2	Geschwindigkeitssensoren	192
5.3.1.3	Beschleunigungssensoren	194
5.3.2	Kraft- und Momentensensoren	197
6	Aktoren	200
6.1	Klassische Aktoren	202
6.1.1	Elektromotorische, rotierende Antriebe	202
6.1.1.1	Gleichstrommotoren	204
6.1.1.2	Drehfeldmotoren	215
6.1.1.3	Asynchronmotoren	216
6.1.1.4	Schrittmotoren	222
6.1.2	Elektromotorische Linearantriebe	224
6.1.3	Fluidische Aktoren	225

6.1.3.1 Pneumatische Aktoren	226
6.1.3.2 Hydraulische Aktoren	226
6.1.3.3 Geschwindigkeitsverstellung von hydraulischen Aktoren	230
6.2 Neuartige Aktoren	235
7 Automatisierungstechnik	246
7.1 Automatisierungskonzepte	246
7.1.1 Intelligente Maschinen	248
7.1.2 Steuerung und Regelung	250
7.1.3 Schlussfolgern und regelbasiertes Wissen	252
7.1.4 Autonome intelligente Agenten	253
7.1.5 Lernen und Mustererkennung	254
7.1.6 Architektur intelligenter Maschinen	255
7.1.6.1 Hierarchien	256
7.1.6.2 Netzwerke	257
7.1.6.3 Schichtarchitekturen	263
7.2 Steuerungstechnik	263
7.2.1 Boole'sche Algebra	267
7.2.1.1 Kombinatorische Steuerungen	270
7.2.1.2 Sequentielle Steuerungen	273
7.2.2 Probleme der Modellbildung digitaler Systeme	277
7.2.3 Mehrwertige und unscharfe Logik (Fuzzy Logic)	279
7.2.3.1 Fuzzy Mengen	280
7.2.3.2 Fuzzy-Inferenz	288
7.2.4 Neuronale Netzwerke	295
7.2.4.1 McCulloch-Pitts-Neuron	297
7.2.4.2 Perceptron	298
7.2.4.3 Backpropagation-Netzwerk	301
7.3 Regelungstechnik	303
7.3.1 Beschreibung und Analyse regelungstechnischer Systeme	304
7.3.1.1 Systembeschreibungen	306
7.3.1.2 Blockschaltbilder	314
7.3.1.3 Frequenzgang und Ortskurve	320
7.3.1.4 Verschiedenartige Übertragungssysteme	322
7.3.1.5 Frequenzkennlinien	329
7.3.1.6 Zustandsraumdarstellung	336
7.3.1.7 Regler	340
7.3.1.8 Stabilität von Regelkreisen	347
7.3.1.9 Systemidentifikation	360
7.3.2 Synthese von Regelkreisen	365
7.3.2.1 Spezifikationen	366
7.3.2.2 Einstellregeln	368
7.3.2.3 Mehrschleifige Regelkreise	371
7.4 Prozessdatenverarbeitung mit Mikrorechnern	375
7.4.1 Mikrorechner	376
7.4.1.1 Aufbau von Mikrorechnern	377
7.4.1.2 Software für Mikrorechner	386
7.4.2 Anwendungsspezifische Prozessoren und Bauelemente	387

X	Inhalt
8 Simulation	391
8.1 Numerische Integration	393
8.2 Modellbildung mit Bondgraphen	399
8.2.1 Elemente von Bondgraphen	399
8.2.2 1-Port Bauelemente	403
8.2.2.1 1-Port R-Elemente	403
8.2.2.2 1-Port C-Elemente	404
8.2.2.3 1-Port I-Elemente	405
8.2.2.4 1-Port Quellen	406
8.2.3 2-Port Bauelemente	407
8.2.3.1 2-Port Transformer	407
8.2.3.2 2-Port Gyror	408
8.2.4 Multi-Ports	409
8.2.5 Erstellung von Modellen komplexerer Systeme	411
8.3 Simulationssysteme	413
8.3.1 Simulationssprachen	413
8.3.2 Simulation elektrischer Schaltungen	414
8.3.3 Simulation mechanischer Systeme	415
8.3.4 Modellbeschreibung mit Blockschaltbild-Editoren	416
8.3.5 Objektorientierte Modellbildung	421
8.3.5.1 20-Sim	422
8.3.5.2 CAMEL-View	427
8.3.6 Hardware-in-the-Loop, Software-in-the-Loop	431
8.3.6.1 Hardware-in-the-Loop	432
8.3.6.2 Software-in-the-Loop	432
8.3.6.3 Kopplung von Modellen und Prototypen	432
8.3.7 Simulationssysteme für Industrieroboter	433
9 Mechatronische Systeme	436
9.1 Wann ist der Einsatz der Mechatronik sinnvoll?	436
9.2 Entwicklung mechatronischer Systeme	439
9.3 Mechatronische Teilsysteme	448
9.3.1 Magnetlager	448
9.3.2 Aktives Fahrwerk	453
9.3.2.1 Aktive Federung mit Hydrozylinder	455
9.3.2.2 Aktive Federung mit Hydrozylinder und aktivem Tilger	456
9.3.3 Mechatronische Anwendungen bei Industrierobotern	459
9.3.3.1 Nachführen eines Roboterarms an einer Freiformfläche	460
9.3.3.2 Zusätzliche Bewegungssachsen für Industrieroboter	465
9.4 Mechatronische Gesamtsysteme	472
9.4.1 Hexapodenkonzepte	472
9.4.2 Fahrrad mit aktiver Neigetechnik	476
Literaturverzeichnis	482
Wortverzeichnis	487