

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
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
<b>2</b>	<b>Modellbildung technischer Systeme</b>	<b>25</b>
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	37
2.4	Modellierung von Geometrie und Körpereigenschaften	40
2.4.1	Mehrkörpersysteme	40
2.4.2	Systeme mit elastischen Elementen	42
2.5	Modellierung elektrischer Komponenten	44
<b>3</b>	<b>Dynamik mechanischer Systeme</b>	<b>49</b>
3.1	Vereinfachende Modellannahmen	49
3.2	Kinematik des Massenpunktes	52
3.3	Kinematik des starren Körpers	54
3.3.1	Die ebene Bewegung des starren Körpers	55
3.3.2	Ebene Relativbewegung eines Punktes	60
3.3.3	Die Bewegung des starren Körpers im Raum	62
3.3.3.1	Rotation im Raum	63
3.3.3.2	Relativbewegung eines Punktes des starren Körpers	65
3.3.3.3	Darstellung der Bewegung des starren Körpers in Matrizenschreibweise	66
3.4	Bindungen in Mehrkörpersystemen	76
3.5	Kinetik	87
3.5.1	Impuls-, Schwerpunkt- und Drallsatz	87
3.5.2	Energiesatz	95
3.5.3	Die Prinzipien der Mechanik	97
3.5.3.1	Prinzip der virtuellen Arbeit	97
3.5.3.2	Lagrange'sche Bewegungsgleichungen	102
<b>4</b>	<b>Schwingungen</b>	<b>111</b>
4.1	Einmassenschwinger	111
4.1.1	Freie ungedämpfte Schwingungen	113
4.1.2	Freie gedämpfte Schwingungen	115
4.1.3	Erzwungene Schwingungen	118
4.1.3.1	Nichtperiodische Erregung	119
4.1.3.2	Harmonische Erregung	120
4.1.4	Nichtlineare Schwinger	126
4.2	Mehrmassenschwinger	128
4.3	Schwingungsanalyse	135
4.3.1	Reelle Form der Fourier-Reihe	136
4.3.2	Komplexe Form der Fourier-Reihe	141
4.3.3	Fourier-Transformation nichtperiodischer Funktionen	142
4.3.4	Diskrete Fourier-Transformation zur Analyse von Abtastsignalen	144

<b>5</b>	<b>Sensoren</b>	153
5.1	Messtechnik	156
5.1.1	Messgrößen und Maßeinheiten	156
5.1.2	Messgrößenaufnehmer und Messwertwandler	158
5.1.2.1	Messwertanpassung	160
5.1.2.2	Analog-/Digital-Wandler	163
5.1.3	Kenngößen von Messeinrichtungen	165
5.1.3.1	Statische Kenngößen	166
5.1.3.2	Dynamische Kenngößen	167
5.1.3.3	Fehlerkenngößen	169
5.2	Messeffekte	173
5.2.1	Widerstandseffekte	175
5.2.1.1	Ohmsche Widerstandseffekte	175
5.2.1.2	Piezowiderstandseffekt	178
5.2.2	Magnetische Effekte	179
5.2.2.1	Induktionsprinzip	179
5.2.2.2	Galvanomagnetische Effekte	180
5.2.2.3	Magnetoelastische Effekte	182
5.2.3	Kapazitive Effekte	183
5.2.4	Piezo- und Pyroelektrische Effekte	184
5.2.5	Optische Effekte	186
5.3	Sensoren für mechatronische Systeme	189
5.3.1	Bewegungssensoren	189
5.3.1.1	Positionssensoren	190
5.3.1.2	Geschwindigkeitssensoren	199
5.3.1.3	Beschleunigungssensoren	201
5.3.2	Kraft- und Momentensensoren	204
<b>6</b>	<b>Aktoren</b>	209
6.1	Klassische Aktoren	211
6.1.1	Elektromotorische, rotierende Antriebe	211
6.1.1.1	Gleichstrommotoren	212
6.1.1.2	Drehfeldmotoren	224
6.1.1.3	Asynchronmotoren	225
6.1.1.4	Schrittmotoren	231
6.1.2	Elektromotorische Linearantriebe	233
6.1.3	Fluidische Aktoren	234
6.1.3.1	Pneumatische Aktoren	235
6.1.3.2	Hydraulische Aktoren	235
6.1.3.3	Geschwindigkeitsverstellung von hydraulischen Aktoren	239
6.2	Neuartige Aktoren	244
6.2.1	Piezoelektrische Aktoren	246
6.2.2	Aktoren aus Formgedächtnislegierungen	249
6.2.3	Dehnstoffaktoren	251
6.2.4	Mikrostrukturierte Aktoren	252
<b>7</b>	<b>Automatisierungstechnik</b>	255
7.1	Automatisierungskonzepte	255
7.2	Intelligente Maschinen	257
7.3	Steuerung und Regelung	259
7.4	Schlussfolgern und regelbasiertes Wissen	261
7.5	Autonome intelligente Agenten	262
7.6	Lernen und Mustererkennung	263
7.7	Architektur intelligenter Maschinen	264
7.7.1	Hierarchien	265

	7.7.2 Netzwerke	266
<b>8</b>	<b>Steuerungs- und Prozessrechentchnik</b>	<b>273</b>
8.1	Boole'sche Algebra	276
	8.1.1 Kombinatorische Steuerungen	279
	8.1.2 Sequentielle Steuerungen	282
8.2	Probleme der Modellbildung digitaler Systeme	285
8.3	Mehrwertige und unscharfe Logik (Fuzzy Logic)	288
8.4	Neuronale Netzwerke	294
	8.4.1 McCulloch-Pitts-Neuron	297
	8.4.2 Perceptron	299
	8.4.3 Backpropagation-Netzwerk	301
8.5	Prozessdatenverarbeitung	306
	8.5.1 Mikrorechner	306
	8.5.2 Aufbau von Mikrorechnern	308
	8.5.3 Software für Mikrorechner	320
8.6	Anwendungsspezifische Prozessoren und Bauelemente	323
<b>9</b>	<b>Regelungstechnik</b>	<b>327</b>
9.1	Beschreibung und Analyse regelungstechnischer Systeme	327
	9.1.1 Laplace-Transformation	329
	9.1.2 Blockschaltbilder	337
	9.1.3 Frequenzgang und Ortskurve	342
	9.1.4 Verschiedenartige Übertragungssysteme	344
	9.1.5 Frequenzkennlinien	351
	9.1.6 Zustandsraumdarstellung	357
	9.1.6.1 Zustandsvariablen	358
	9.1.6.2 Bestimmung der Zustandsgrößen	359
	9.1.6.3 Zustandsgleichungen	361
	9.1.7 Regler	364
	9.1.8 Stabilität von Regelkreisen	370
	9.1.9 Reglerauslegung	377
9.2	Systemidentifikation	383
9.3	Synthese von Regelkreisen	390
	9.3.1 Spezifikationen	390
	9.3.2 Einstellregeln	394
	9.3.3 Mehrschleifige Regelkreise	396
<b>10</b>	<b>Simulation</b>	<b>401</b>
10.1	Numerische Integration	403
	10.1.1 Stabilität numerischer Lösungsverfahren	405
	10.1.2 Mehrschrittverfahren und modifizierte Einschrittverfahren	406
	10.1.3 Schrittweitenanpassung	411
10.2	Objektorientierte Modellbildung	412
	10.2.1 Bondgraphen	413
	10.2.2 1-Port Bauelemente	416
	10.2.2.1 1-Port R-Elemente	416
	10.2.2.2 1-Port C-Elemente	417
	10.2.2.3 1-Port I-Elemente	418
	10.2.2.4 1-Port Quellen	419
	10.2.3 2-Port Bauelemente	420
	10.2.3.1 2-Port Transformer	420
	10.2.3.2 2-Port Gyrator	421
	10.2.4 Multi-Ports	422
	10.2.5 Erstellung von Modellen komplexerer Systeme	424

10.3	Simulationssysteme	426
10.3.1	Simulationssprachen	426
10.3.2	Simulation elektrischer Schaltungen	427
10.3.3	Simulation mechanischer Systeme	428
10.3.4	Modellbeschreibung mit Blockschaltbild-Editoren	429
10.3.5	Objektorientierte Modellbildung	433
10.3.5.1	20-sim	434
10.3.5.2	CAMel-View	440
10.3.6	Hardware-in-the-Loop, Software-in-the-Loop	442
10.3.6.1	Hardware-in-the-Loop	442
10.3.6.2	Software-in-the-Loop	442
10.3.6.3	Kopplung von Modellen und Prototypen	443
10.3.7	Simulationssysteme für Industrieroboter	443
<b>11</b>	<b>Mechatronische Systeme</b>	<b>447</b>
11.1	Wann ist der Einsatz der Mechatronik sinnvoll?	447
11.2	Entwicklung mechatronischer Systeme	450
11.2.1	Beispiel invertiertes Pendel	451
11.2.2	Modellparametrierung und Reglerauswahl	455
11.2.3	Regleroptimierung	458
11.2.4	Realisierung	459
11.3	Mechatronische Teilsysteme	461
11.3.1	Magnetlager	461
11.3.2	Anti-Blockier-System (ABS) und PKW-Antriebsstrang	466
11.3.2.1	PKW-Antriebsstrang	466
11.3.2.2	ABS-System	468
11.3.3	Aktives Fahrwerk	474
11.3.3.1	Aktive Federung mit Hydrozylinder	475
11.3.3.2	Aktive Federung mit Hydrozylinder und aktivem Tilger	477
11.3.4	Optomechanische Bildstabilisierung	480
11.3.4.1	Bildstabilisierung im Objektiv	481
11.3.4.2	Gyroskopischer Sensor	483
11.3.5	Mechatronische Anwendungen bei Industrierobotern	485
11.3.5.1	Nachführen eines Roboterarms an einer Freiformfläche	486
11.3.5.2	Hexapodenkonzept	491
11.4	Fahrrad mit aktiver Neigetechnik	494
11.5	Pneumatischer Bewegungssitz	498
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>505</b>
	<b>Sachwortverzeichnis</b>	<b>509</b>