

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Historische Entwicklung der Ingenieurwissenschaften	1
1.1.1	Entwicklung der Physik	3
1.1.2	Lösungswege zur Vereinheitlichung	5
1.2	Systeme und Modelle	7
1.2.1	Mechatronische Systeme	8
1.2.2	Modelle	10
1.2.3	Theoretische Modellbildung	15
1.2.4	Modellierungsbeispiele	17
1.2.4.1	Mechanisches Beispiel	17
1.2.4.2	Elektrotechnisches Beispiel	20
1.2.5	Simulation von Modellen	24
1.3	Bondgraphen	26
2	Modellbildung mit Bondgraphen	30
2.1	Subsysteme und Multiports	30
2.1.1	Ports und Multiports	30
2.1.2	Generalisierte Variablen	31
2.1.3	Multiports und Bondgraphen	35
2.2	Modelle grundlegender Komponenten	38
2.2.1	1-Port Bauelemente	39
2.2.1.1	1-Port Widerstand (Resistor)	39
2.2.1.2	1-Port Nachgiebigkeiten (Compliance)	42
2.2.1.3	1-Port Trägheit (Inertia, Inductance)	44
2.2.1.4	1-Port Quellen	46
2.2.2	2-Port Bauelemente	47
2.2.2.1	2-Port Transformator	47
2.2.2.2	2-Port Gyrator	50
2.2.3	Multi-Port Elemente	52
2.2.3.1	3-Port Verknüpfungen	52
2.2.3.2	Vereinfachung von Verknüpfungen in Bondgraphen	56
2.2.4	Zeichnen von Bondgraphen einfacher Systeme	59
2.2.4.1	Elektrische Systeme	59
2.2.4.2	Mechanische Systeme	63
2.2.5	Kausalitätszuweisung	67
2.2.4.3	Kausalität von Transformator und Gyrator	68
2.2.4.4	Kausalität von Verknüpfungen	69
2.2.4.5	Kausalität von Speicherelementen: I, C	69
2.2.4.6	Kausalität des R-Elementes	71
2.2.4.7	Kausalitätszuweisung in Bondgraphen	71
2.3	Bondgraphen hydraulischer und elektronischer Systeme	78

2.3.1	1-Port Elemente der Hydraulik	80
2.3.1.1	C-Elemente	80
2.3.1.2	I-Elemente	81
2.3.1.3	R-Elemente	81
2.3.2	2-Port Elemente der Hydraulik	83
2.3.3	Zeichnen von Bondgraphen hydraulischer Systeme	84
2.3.4	Elektronische Systeme	86
3	Herleitung des mathematischen Modells	95
3.1	Standardformen von Systemgleichungen	95
3.2	Ermittlung der Systemgleichungen von Bondgraphen	100
3.2.1	Systemvariablen	100
3.2.2	Beispiel aus der Elektrotechnik	101
3.2.3	Beispiel aus der Mechanik	103
3.2.4	Beispiel aus der Elektromechanik	106
3.2.5	Speicher mit differentieller Kausalität	108
3.3	Algebraische Schleifen	111
3.3.1	Elektrotechnisches Beispiel	112
3.3.2	Mechanisches Beispiel	114
4	Simulationssysteme	117
4.1	Numerische Integration	119
4.2	Blockschaltbild-Editoren	128
4.3	Objektorientierte Simulationssysteme	134
5	Analyse linearer Systeme	142
5.1	Linearisierung nichtlinearer Systeme	142
5.2	Klassifizierung von Systemen nach ihrer Ordnung	147
5.2.1	Systeme 0. Ordnung	148
5.2.2	Systeme 1. Ordnung	150
5.2.3	Systeme 2. Ordnung	153
5.2.3.1	Untersuchung im Zeitbereich	153
5.2.3.2	Untersuchung im Frequenzbereich	162
5.2.4	Systeme höherer Ordnung	171
6	Multiport-Felder und komplexe Strukturen	176
6.1	C-Felder	176
6.1.1	Mechanisches C-Feld	177
6.1.2	Implizites elektrisches C-Feld	180
6.1.3	Sensor mit C-Feld	183
6.2	I-Felder	186
6.3	R-Felder	193
6.4	Multiport Transformer	195

7 Komponenten mechatronischer Systeme	200
7.1 Mechanische Strukturen	201
7.1.1 Ebene Bewegung starrer Körper	204
7.1.2 Räumliche Bewegung starrer Körper	211
7.1.3 Modellierung von Fahrzeugkomponenten	214
7.1.3.1 Antriebsstrang	214
7.1.3.2 Passives Fahrwerk	217
7.1.3.3 Aktive Federung	224
7.2 Sensoren	228
7.2.1 Ohmscher Widerstandseffekt	228
7.2.2 Magnetische Effekte	232
7.2.2.1 Eigenschaften magnetischer Felder	232
7.2.2.2 Bondgraphen magnetischer Systeme	235
7.2.2.3 Sensor mit magnetischen Eigenschaften	237
7.2.2.4 Hall Effekt	241
7.2.3 Piezoelektrischer Effekt	245
7.2.3.1 Piezoelement	247
7.2.3.2 Sensoren mit Piezoelementen	249
7.2.3.3 Aktivität von Leistungsbonds	250
7.2.4 Signalanpassung und Filterung	255
7.3 Aktoren	260
7.3.1 Elektrische Aktoren	261
7.3.1.1 Elektromagnet	261
7.3.1.2 Elektromotoren	264
7.3.2 Hydraulische Aktoren	274
8 Mechatronische Systeme	279
8.1 Lageregelkreis einer NC-Maschine	279
8.1.1 Bondgraph elektromechanisches System	280
8.1.2 Unterschiedliches Reibverhalten	281
8.1.3 Gesamtmodell mit nichtlinearen Komponenten	286
8.2 Invertiertes Pendel	290
8.2.1 Ermittlung der Bewegungsgleichungen	291
8.2.2 Ermittlung des Bondgraphen	293
8.2.3 Regelung des invertierten Pendels	294
8.2.3.1 Einfache P-Regelung	296
8.2.3.2 PD- und PID-Regelung	297
9 Schlussbetrachtung	300
10 Lösungen zu den Aufgaben	303
Literaturverzeichnis	325
Sachwortverzeichnis	327