

Jörg Kahlert

Simulation technischer Systeme

Eine beispielorientierte Einführung

Mit 249 Abbildungen

Vieweg Praxiswissen



Inhaltsverzeichnis

1 EINFÜHRUNG: SIMULATION EINES FADENPENDELS	1
1.1 Modellbildung	1
1.2 Numerische Lösung der Bewegungsgleichung	3
1.3 Beispielrechnung	5
1.4 Schlussfolgerungen	7
2 MODELLBILDUNG	9
2.1 Der Systembegriff	9
2.2 Systemanalyse	15
2.2.1 Experimentelle Systemanalyse	15
2.2.2 Analytische Untersuchungen anhand der Systemgleichungen	16
2.2.3 Analyse auf Basis von Simulationen	18
2.3 Typen von Systemmodellen	20
2.3.1 Maßstabsgetreue Modelle	20
2.3.2 Modelle auf Basis von System-Analogien	21
2.3.3 Klassifizierung dynamischer Systeme	31
2.3.4 Mathematische Modelle	34
2.3.5 Elementare lineare Übertragungsglieder	54
2.4 Bestimmung der Modellparameter (Identifikation)	74
2.4.1 Verfahren nach <i>Küpfmüller</i>	74
2.4.2 Verfahren nach <i>Strejc</i>	77
2.4.3 Verfahren nach <i>Strejc</i> für PT_n -Modell	80
2.4.4 Verfahren nach <i>Naslin</i> für PT_2 -Modell mit unterschiedlichen Zeitkonstanten	83
2.4.5 Identifikation schwingfähiger PT_2 -Glieder	86
2.4.6 Approximation durch Übertragungsfunktion höherer Ordnung	88
2.5 Testsignale für dynamische Systeme	93
3 NUMERISCHE INTEGRATIONSVERFAHREN	98
3.1 Einschrittverfahren	99
3.1.1 Explizites <i>Euler</i> -Verfahren	100
3.1.2 Implizites <i>Euler</i> -Verfahren	110
3.1.3 Halbschrittverfahren	112
3.1.4 Trapezverfahren	116
3.1.5 <i>Simpson</i> -Verfahren	121
3.1.6 Standard- <i>Runge-Kutta</i> -Verfahren	124
3.1.7 Verallgemeinerte <i>Runge-Kutta</i> -Verfahren	129

3.2	Mehrschrittverfahren	131
3.2.1	Mittelpunktsregel	132
3.2.2	<i>Adams-Bashforth</i> -Verfahren 2. Ordnung	134
3.2.3	<i>Adams-Bashforth</i> -Verfahren höherer Ordnung	137
3.2.4	<i>Adams-Moulton</i> -Verfahren	138
3.2.5	<i>Gear</i> -Verfahren	140
3.3	Charakterisierung von Integrationsverfahren	141
3.3.1	Stabilität von Integrationsverfahren	142
3.3.2	Rechenaufwand und Genauigkeit	151
3.4	Verfahren mit variabler Schrittweite	154
4	SIMULATIONSWERKZEUGE	162
4.1	Herkömmliche Programmiersprachen	162
4.2	Simulationssprachen	169
4.2.1	Die Simulationssprache ACSL	169
4.2.2	Integrationsverfahren in ACSL	173
4.2.3	Standard-Operatoren in ACSL	175
4.2.4	Das ACSL-Laufzeitsystem	180
4.3	Blockorientierte Simulationsumgebungen	185
4.3.1	Darstellung von Systemen in Blockschaltbildern	186
4.3.2	Leistungsmerkmale blockorientierter Simulationsumgebungen	188
5	DAS BLOCKORIENTIERTE SIMULATIONSSYSTEM BORIS	191
5.1	Einführung	191
5.1.1	Die Benutzeroberfläche von BORIS	191
5.1.2	Arbeiten mit Systemblöcken	192
5.1.3	Ziehen von Verbindungen	196
5.1.4	Steuerung der Simulation	197
5.1.5	Visualisierung und Weiterverarbeitung von Simulationsergebnissen	202
5.1.6	Weitere Programmmerkmale	204
5.2	Prozessvisualisierung mit dem Flexible Animation Builder	205
5.2.1	Leistungsumfang des Moduls	205
5.2.2	Einfügen eines FAB-Moduls	206
5.2.3	Konfigurierung der Modulein- und -ausgänge	207
5.2.4	Die FAB-Grafik- und -Bedienelemente	208
5.2.5	Spezifizierung von Elementeigenschaften	212
5.2.6	Das I/O-Kontrollfenster	215
5.2.7	Einfaches Anwendungsbeispiel: Inverses Doppelpendel	216
5.3	Ausgewählte Simulationsbeispiele	221
5.3.1	Nichtlineares Fadenpendel	221
5.3.2	RC-Glied	223
5.3.3	Mechanischer Schwinger	225
5.3.4	Tanksystem	227

5.3.5	Stabpendel	233
5.3.6	Ofensystem	234
5.3.7	Verladekran	236
5.3.8	Gekoppelte Dynamos	242
5.3.9	Drei-Körper-Problem	243
5.3.10	Fadenpendel mit Anschlag	247
5.3.11	Springender Ball	251
5.3.12	Schwinger mit variabler Masse (zeitvariantes System)	254
5.3.13	Füllstandsregelkreis mit Abtast-Regler	258
5.3.14	Beschleunigungsvorgang bei PKW	265
5.3.15	Stabilisierung eines inversen Doppelpendels	272
5.3.16	Abfördersystem	278
5.3.17	Feder-Masse-System mit Anschlägen	283
5.3.18	Lithium-Cluster-Dynamik	286
LITERATUR		291
SACHWORTVERZEICHNIS		295
BEGLEIT-SOFTWARE ZUM BUCH		299