

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung in MATLAB®	1
1.1 Desktop und Fenster	2
1.2 Online-Hilfe	4
1.3 Einige Bemerkungen zur Arbeitsweise von MATLAB	5
1.4 Basis-Elemente	5
1.4.1 Skalare Operationen und Variablenverwaltung	6
1.4.2 Mathematische Funktionen	9
1.4.3 Vektoren und Matrizen	11
1.4.4 Lineare Gleichungssysteme	20
1.4.5 Spezielle Datenstrukturen	23
1.4.6 Vergleichsoperatoren und logische Operatoren	26
1.4.7 Verzweigungen und Schleifen	27
1.5 Programmerstellung, MATLAB Script und Function	30
1.5.1 MATLAB Editor und Verzeichnispriorität	30
1.5.2 Datenein- und Ausgabe	32
1.5.3 MATLAB Script	33
1.5.4 MATLAB Function	35
1.5.5 Code-Beschleunigung, der Profiler	42
1.6 Grafik	44
1.6.1 Grafikfenster (Figure), Erstellung und Verwaltung	45
1.6.2 2D-Grafik	47
1.6.3 3D-Grafik	60
1.7 Animation von 2D- und 3D-Modellen	66
1.7.1 Modellerstellung	66
1.7.2 Animations-Grafik	67
1.7.3 2D-Animation einfacher Linien-Modelle	69
1.7.4 Animation mit geometrischen 3D-Modellen	73
1.8 Computeralgebra unter MATLAB, die Symbolic Math Toolbox	81
1.8.1 Online-Hilfe	82
1.8.2 Symbolische Objekte	83
1.8.3 Vereinbarung symbolischer Variablen und Ausdrücke (Objekte)	83
1.8.4 Substitution symbolischer und numerischer Größen, der subs Befehl	85
1.8.5 Beispiele aus der Analysis	86
1.8.6 Algebraische Gleichungssysteme, der solve Befehl	87
1.8.7 Gewöhnliche Differenzialgleichungen, der dsolve Befehl	88
1.8.8 Beispiel aus der linearen Algebra	91
1.8.9 Übergang zur Numerik	93

2	Modellbildung	95
2.1	Bemerkungen zur Schreibweise	96
2.2	Strukturen der Bewegungsgleichungen	97
2.3	Grundlagen	97
2.3.1	Kinematik starrer Körper	97
2.3.2	Kinetik	108
2.4	Newton-Euler-Methode	111
2.4.1	Rechnerorientierte Vorgehensweise	116
2.5	Lagrange'sche Gleichung 2. Art	118
2.6	Linearisierung	122
2.7	Anwendung der Modellerstellung	125
3	Lineare Schwingungsmodelle	131
3.1	Bewegungsgleichungen	132
3.2	Eigenschwingungen und freie Schwingungen	134
3.2.1	Das Eigenwertproblem in MATLAB, allgemeine Betrachtung	134
3.2.2	Numerische Behandlung der Eigenwertprobleme	136
3.3	Erzwungene Schwingungen	148
3.3.1	Konstante Erregung	149
3.3.2	Harmonisch angeregte mechanische Systeme	150
4	Simulation unter Simulink®	161
4.1	Zur Funktionsweise	161
4.1.1	Block-Struktur	161
4.1.2	Simulationsablauf	162
4.2	Die Integrationsverfahren	163
4.2.1	Methoden und Bezeichnungen	164
4.2.2	Stetigkeit der Differenzialgleichung	169
4.2.3	Bemerkungen zur Wahl der Verfahren	170
4.3	Simulink-Grundlagen	171
4.3.1	Die Modell-Library	171
4.3.2	Einstellung des Integrators und des Datentransfers	173
4.3.3	Datentransfer über den Workspace	174
4.3.4	Simulationsaufruf aus der MATLAB Umgebung	174
4.3.5	Hilfsmittel zur Modellerstellung und Datenauswertung	175
4.4	Simulink-Modellierung eines einfachen Projekts	186
4.4.1	1/4-Fahrzeugmodell und die Bewegungsgleichungen	186
4.4.2	Aufbereitung der Bewegungsgleichungen	188
4.4.3	Das Fahrbahnprofil	190
4.4.4	Parametrisierung des Zustandsmodells im State Space Block	194
4.4.5	Modellierung der Reibelemente	195
4.4.6	Die Startroutine für die MATLAB-Umgebung	198
4.4.7	Simulink-Modelle und Simulationsergebnisse	199
4.5	Algebraische Schleifen in dynamischen Modellen	205
4.5.1	Algebraische Schleifen	205

4.5.2	System mit algebraischer Schleife	205
4.6	Vektorielle Betrachtungsweise und Modellierung	209
4.6.1	Simulationsergebnisse, selbsterregte Schwingungen und Mitnahme-Effekte	210
4.6.2	Nichtlineare Gleichungen höherer Ordnung	211
4.7	Modellierung mit Hilfe einer S-Function	214
4.7.1	M-File S-Function	214
4.7.2	C Mex-File S-Function	221
5	Simulation unter MATLAB®	225
5.1	Struktur der Differenzialgleichungen	225
5.1.1	Beispiele für eine explizite Formulierung	228
5.2	Der grundsätzliche Aufbau eines Simulationsprogramms	237
5.2.1	Möglichkeiten zum Integratoraufruf unter MATLAB	237
5.3	Integration von Systemen in Standardform	241
5.3.1	Unwuchtiger Motor auf elastischem Fundamentblock	242
5.4	Differenzial-algebraische Gleichungen	249
5.4.1	Mathematische Hintergründe	249
5.4.2	Möglichkeiten unter MATLAB und Simulink	251
5.4.3	Mechanische Bewegungsgleichungen mit algebraischen Bindungsgleichungen	252
5.4.4	Überführung in gewöhnliche Differenzialgleichungen	260
5.4.5	Übergang auf Minimalkoordinaten	266
5.5	Implizite Differenzialgleichungen	272
5.6	Integration gewöhnlicher Differenzialgleichungen mit Unstetigkeiten	275
5.6.1	Beispiele für Unstetigkeiten in den Bewegungsgleichungen	275
5.6.2	Formulierung von Schaltfunktionen	277
5.6.3	Lokalisierung der Schaltpunkte	278
5.6.4	Beispiele zur Zwei-Punkt-Schaltlogik	279
5.6.5	Dreipunkt-Schaltlogik am Beispiel eines Zwei-Massen-Schwingers mit Reibung	289
5.7	Randwertprobleme gewöhnlicher Differenzialgleichungen	303
5.7.1	Grundlagen	303
5.7.2	Standardproblem am Beispiel der Kettenlinie	304
5.7.3	Mehrpunkt-Randwertprobleme	308
5.7.4	Periodische Schwingungen nichtlinearer Systeme	310
6	Modellierung und Simulation mit dem Stateflow® Tool	317
6.1	Stateflow-Elemente	317
6.1.1	Das Chart	318
6.1.2	Zustand und Zustand-Label	319
6.1.3	Transitionen	320
6.1.4	Default Transition	322
6.1.5	Verbindungspunkte	322
6.1.6	Der Modell-Explorer	323
6.1.7	Erweiterte Strukturen	324
6.2	Beispiel: Schwinger mit Coulomb-Reibung	324
6.2.1	Bewegungsgleichungen und Schaltbedingungen	324

6.2.2	Simulink-Modell mit Chart	325
6.3	Beispiel: Springender Ball	330
7	Physikalische Modelle unter Simulink®	335
7.1	SimMechanics Tool	336
7.1.1	Funktionsweise	336
7.1.2	Untersuchungsmethoden	337
7.1.3	Erstes SimMechanics-Modell	337
7.1.4	Arbeitsweise des Joint Stiction Actuators	344
7.1.5	Visualisierung und Animation der Maschine	349
7.1.6	Einige mathematische Aspekte	350
7.2	Anwendungen und Ausblick	353
8	Projekte	355
8.1	Permanentmagnet gelagerter Rotor	355
8.1.1	Systembeschreibung	356
8.1.2	Rotor- und Magnetmodellierung	357
8.1.3	Die aktive Stabilisierung, Reglerstrukturen	358
8.1.4	Das kontinuierliche Modell	359
8.1.5	Reglerentwürfe	360
8.1.6	Parametrierung und Reglerkoeffizienten	363
8.1.7	Simulink-Modelle	363
8.1.8	Simulationsergebnisse	364
8.2	Störgrößenkompensation harmonischer und konstanter Störungen	364
8.2.1	Grundlagen zur Strecke und zum Beobachterentwurf	367
8.2.2	Parameterfile und Simulink-Modell	369
8.2.3	Beobachter über S-Funktion	370
8.2.4	Analytische Ermittlung der Lösungen	370
8.2.5	Ergebnisse	374
8.3	Schwingungstilger mit viskoelastischem Anschlag	376
8.3.1	Das stationäre System ohne Anschlag	377
8.3.2	Entwurf des Simulink-Modells	379
8.3.3	Schwingungsantwort mit einem Sinus-Sweep des Systems ohne/mit Anschlag	384
8.4	Axialkolbenverdichter einer Pkw-Klimaanlage	386
8.4.1	Das Modell	386
8.4.2	Der Hebelmechanismus	387
8.4.3	Bewegungsgleichungen nach Lagrange	388
8.4.4	Das M-File, erste Ergebnisse	391
8.4.5	Modellbasierter Entwurf mit SimMechanics	391
8.4.6	Vergleich der Ergebnisse bezüglich der Gelenkkräfte	393
8.4.7	Stationäre Lage, die Trimming-Methode	394
8.4.8	Der Verdichter als SimMechanics-Modell	395
8.5	Dreifachpendel	396
8.5.1	Lagrange'sche Gleichung 2. Art	398
8.5.2	Newton-Euler-Formalismus	399

8.5.3	Übergang zur Numerik und Integration	402
8.5.4	Animationsmodell	403
8.5.5	Schwingungsverhalten	405
8.5.6	Vorwärtsdynamik mit SimMechanics	407
8.5.7	Inverse Dynamik	410
8.6	Hubschwingungen eines Viertelfahrzeugs mit nichtlinearem Stoßdämpfer	411
8.7	Dynamik des Levitron-Kreisels	413
8.8	Balancierender Roboter	414
8.8.1	Motivation	415
8.8.2	Modellvoraussetzungen und Annahmen	415
8.8.3	Herleitung der Bewegungsgleichungen	416
Literaturverzeichnis		417
Stichwortverzeichnis		421