
Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
1.1	Stationäre Zustände und Ausgleichsvorgänge	1
1.2	Symbolische Analyse oder Simulation?	2
1.3	Computeralgebra und Computeralgebra-Systeme	5
1.4	Beschreibungsformen dynamischer Systeme – Mathematische Modelle	7
1.4.1	Differentialgleichungen	8
1.4.2	Zustandsgleichungen	8
1.4.3	Übertragungsfunktionen	11
1.4.4	Strukturbilder	12
1.4.5	Algebraische Schleifen	13
	Literatur	15
2	Das Computeralgebra-System Maple – Grundlagen	17
2.1	Maple-Arbeitsblätter	18
2.1.1	Dokument- und Worksheet-Modus	18
2.1.2	Eingaben im Worksheet-Modus	20
2.1.3	Paletten und Symbolnamen	22
2.1.4	Kontextmenüs	23
2.1.5	Griechische Buchstaben	24
2.1.6	Units/Einheiten	24
2.1.7	Gestaltung und Formatierung der Maple-Dokumente	25
2.1.8	Packages	26
2.1.9	Maple-Initialisierungsdateien	27
2.2	Variablen, Folgen, Listen, Mengen, Vektoren und Matrizen	28
2.2.1	Variablen	28
2.2.2	Folgen, Listen, Mengen und Tabellen	30
2.2.3	Vektoren und Matrizen	35
2.2.4	Der map-Befehl	36
2.2.5	Der zip-Befehl	37

2.3	Zahlen, mathematische Funktionen und Konstanten	38
2.3.1	Zahlendarstellung	38
2.3.2	Konvertierung in Gleitpunktzahl mittels evalf	41
2.3.3	Interne Zahlendarstellung	43
2.3.4	Rechnen mit der Hardware-Gleitpunktarithmetik	44
2.3.5	Mathematische Funktionen	44
2.3.6	Nutzerdefinierte Konstanten	45
2.4	Umformen und Zerlegen von Ausdrücken und Gleichungen	45
2.4.1	Vereinfachung von Ausdrücken und Setzen von Annahmen	45
2.4.2	Umformen von Ausdrücken und Gleichungen	48
2.4.3	Herauslösen und Bilden von Teilausdrücken	53
2.4.4	Ersetzen und Auswerten von Ausdrücken	54
2.5	Grafische Darstellungen	57
2.5.1	Erzeugung zweidimensionaler Grafiken mittels plot	58
2.5.2	Das Grafik-Paket plots	62
2.5.3	Texte und Symbole in Grafiken	67
2.5.4	Animationen unter Maple	69
2.6	Komplexe Zahlen und Zeigerdarstellungen	71
2.6.1	Komplexe Zahlen und komplexe Ausdrücke	71
2.6.2	Zeigerdarstellung im Grafikpaket plots	75
2.7	Lösen von Gleichungen, Ungleichungen, Gleichungssystemen	78
2.7.1	Symbolische Lösung von Gleichungen und Ungleichungen mit solve	78
2.7.2	Symbolische Lösung von Gleichungssystemen	79
2.7.3	Numerische Lösung von Gleichungen und Gleichungssystemen mit fsolve	81
2.8	Definition von Funktionen und Prozeduren	82
2.8.1	Funktionen mit einer oder mehreren Variablen	82
2.8.2	Umwandlung eines Ausdrucks in eine Funktion (unapply)	83
2.8.3	Zusammengesetzte Funktionen (piecewise)	83
2.8.4	Approximation von Funktionen	84
2.8.5	Prozeduren	86
2.9	Differentiation und Integration	88
2.9.1	Ableitung eines Ausdrucks: diff, Diff	88
2.9.2	Der Differentialoperator D	91
2.9.3	Integration eines Ausdrucks: int, Int	93
2.9.4	Numerische Integration	95
2.10	Speichern und Laden von Dateien	96
	Literatur	97

3	Lösen von gewöhnlichen Differentialgleichungen	99
3.1	Einführung	99
3.2	Analytische Lösung von Differentialgleichungen	100
3.2.1	Die Befehle <code>dsolve</code> und <code>odeTest</code>	100
3.2.2	Differentialgleichungen 1. Ordnung	101
3.2.3	Abschnittsweise definierte Differentialgleichungen 1. Ordnung	108
3.2.4	Differentialgleichungen 2. und höherer Ordnung	110
3.2.5	Differentialgleichungssysteme	115
3.3	Laplace-Transformation	116
3.3.1	Maple-Befehle für Transformation und Rücktransformation	116
3.3.2	Lösung gewöhnlicher Differentialgleichungen	117
3.3.3	Die Befehle <code>addtable</code> und <code>savetable</code>	119
3.4	Numerisches Lösen gewöhnlicher Differentialgleichungen	121
3.4.1	Einführende Beispiele	122
3.4.2	Steuerung der Ergebnisausgabe über die Option <i>output</i>	128
3.4.3	Steuerung der Ergebnisausgabe über die Optionen <i>range</i> und <i>maxfun</i>	131
3.4.4	Ereignisbehandlung bei Anfangswertproblemen	133
3.4.5	Numerische Methoden für Anfangswertaufgaben	138
3.4.6	Anwendung von <code>fsolve</code> auf Lösungen von <code>dsolve/numeric</code>	143
3.4.7	Differentialgleichungen mit Totzeiten	144
3.5	Das Paket <code>DynamicSystems</code>	149
3.5.1	Einführung	149
3.5.2	Demonstrationsbeispiel: Drehzahlregelung eines Gleichstromantriebs	149
	Literatur	163
4	Modellierung und Analyse elektrischer Netzwerke	165
4.1	Vorbemerkungen und Überblick	165
4.2	Ermittlung von Modellen in Zustandsraumdarstellung	166
4.2.1	Grundlagen	166
4.2.2	Methode der Modellierung	168
4.2.3	Netzwerke mit abhängigen Induktivitäten	175
4.2.4	Netzwerke mit abhängigen Kapazitäten	178
4.2.5	Netzwerke mit magnetischer Kopplung	182
4.3	Netzwerksmodelle im Bildbereich	184
4.3.1	Laplace-Transformation, Impedanzoperatoren	184
4.3.2	Modellierung gekoppelter Stromkreise	186
4.4	Komplexe Wechselstromrechnung und Ortskurven	196
4.4.1	Rechnen mit komplexen Größen	196
4.4.2	Ortskurven	202

4.4.3	Komplexe Netzwerksberechnung mit dem Maschenstrom- verfahren	208
4.5	Analyse elektrischer Netzwerke mit dem Maple-Paket Syrup	212
4.5.1	Beschreibung der Netzwerke	212
4.5.2	Analyse von Netzwerken mit dem Befehl Solve	214
4.5.3	Export als Modelica-File	218
4.6	Modellierung realer Bauelemente elektrischer Systeme	220
4.6.1	Spulen, Kondensatoren und technische Widerstände	220
4.6.2	Magnetisierungskennlinie und magnetische Sättigung	221
4.6.3	Sonstige Elemente elektrischer Systeme	228
4.6.4	Konzentrierte oder verteilte Parameter?	228
	Literatur	230
5	Modellierung und Analyse mechanischer Systeme	233
5.1	Grundelemente mechanischer Modelle	233
5.2	Systemparameter	234
5.2.1	Masse und Massenträgheitsmoment	235
5.2.2	Federsteifigkeit	237
5.2.3	Dämpfung	239
5.2.4	Reibung	240
5.2.5	Lose (Spiel)	242
5.3	Grundgleichungen für die Modellierung mechanischer Systeme	244
5.3.1	Modellierung nach der Newton-Euler-Methode	244
5.3.2	Grundgesetz der Dynamik für geradlinige Bewegung	244
5.3.3	Grundgesetz der Dynamik für rotierende Bewegung um eine feste Achse	252
5.3.4	Transformation von Systemgrößen durch Getriebe	252
5.3.5	Beispiel: Rotierendes Zweimassensystem	255
5.3.6	Leistungssatz	261
5.4	Lagrangesche Bewegungsgleichungen 2. Art	262
5.5	Torsionsschwingungen mit Übertragungsmatrizen berechnen	271
5.5.1	Grundlagen	271
5.5.2	Rotierende Systeme mit beliebiger Zahl von Drehmassen	280
	Literatur	285
6	Ausgewählte Beispiele	287
6.1	Verladebrücke	287
6.1.1	Antrieb der Laufkatze durch eine konstante Kraft	288
6.1.2	System mit Modell für Antrieb und Bremse – analytische Lösung	290
6.1.3	System mit zusätzlicher Dämpfung – numerische Berechnung	298
6.2	Dynamisches Verhalten eines Gleichstromantriebs	304
6.2.1	Sprungförmige Änderung der Ankerspannung	306

6.2.2	Periodische Änderung des Widerstandsmoments, Ankerspannung konstant	313
6.3	Eingebettete Komponenten, DocumentTools und Startup-Code	315
6.3.1	Das Paket DocumentTools	315
6.3.2	Startup-Code	316
6.3.3	Beispiel „Ortskurve“	316
6.4	Drehzahlregelung eines Gleichstromantriebs	318
6.4.1	Beschreibung des Befehls SystemConnect	320
6.4.2	Lösung der Beispielaufgabe	321
6.5	Einschaltstrom eines Einphasen-Transformators	325
6.5.1	Lineare Beziehung zwischen i und Φ	326
6.5.2	Nichtlineare Beziehung zwischen i und Φ	328
6.5.3	Fourieranalyse des Einschaltstroms des Transformators	332
6.6	Antriebssystem mit elastisch gekoppelten Massen	335
6.6.1	Torsion und Drehmomentschwingungen der Welle	336
6.6.2	Übertragungsfunktionen und Frequenzkennlinien	342
6.7	Schwungmassenanlauf von Asynchronmotoren	346
6.7.1	Momentkennlinie und Bewegungsgleichung	346
6.7.2	Lösung der Bewegungsgleichung für den Anlaufvorgang	349
6.7.3	Lösung der Bewegungsgleichung für den Reversiervorgang	352
6.8	Rotierendes Zweimassensystem mit Spiel	355
6.8.1	Antrieb durch konstantes Moment	357
6.8.2	Antriebsmoment mit periodisch wechselndem Vorzeichen	359
6.9	Modellierung und Simulation von Stromrichterschaltungen	362
6.9.1	Modellierung von Halbleiterdioden und Thyristoren	362
6.9.2	Stromrichter in Zweipuls-Mittelpunktschaltung	364
6.9.3	Stromrichter in Zweipuls-Brückenschaltung	371
6.10	Ausgleich von Messwerten in elektrischen Verteilungsnetzen	377
6.10.1	Problemstellung und Grundprinzip der Lösung	377
6.10.2	Berechnung der Ausgleichswerte	377
	Literatur	384
7	MapleSim und das MapleSim-API	385
7.1	Objektorientierte Modellierung und Modelica®	385
7.2	Objektorientierte Modellierung und Simulation mit MapleSim	393
7.2.1	Objektdiagramme	393
7.2.2	Das MapleSim-Fenster/Parametereinstellung	395
7.2.3	MapleSim-Plots	397
7.2.4	Simulationsergebnisse speichern, Simulation fortsetzen	398
7.2.5	Bildung von Sub-Systemen	400
7.2.6	Nutzerdefinierte Bibliotheken	402
7.2.7	Analysieren von Modellen mit Hilfe von Templates	402

7.3	Analysieren der Modelle von MapleSim in Maple-Worksheets	403
7.4	Verarbeiten von Modelica-Code	414
	Literatur	416
8	Brücken von Maple zu MATLAB und Scilab	417
8.1	Das Maple-Paket Matlab	417
8.2	Maple und Scilab/Xcos	424
8.2.1	Austausch von numerischen Daten über Dateien	425
8.2.2	Die Maple-Prozedur maple2scilab	428
	Literatur	430
	Anhang A	431
	Anhang B – Grafik	445
	Anhang C – Numerische Lösung von Anfangswertproblemen	449
	Anhang D – Diskrete Approximation	465
	Anhang E – Paket LinearAlgebra (Auswahl)	479
	Anhang F – Paket DynamicSystems (Auswahl)	483
	Literatur zum Anhang	491
	Sachverzeichnis	493