

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
1.1	Stationäre Zustände und Ausgleichsvorgänge	1
1.2	Symbolische Analyse oder Simulation?	1
1.3	Computeralgebra und Computeralgebra-Systeme	4
1.4	Beschreibungsformen dynamischer Systeme – Mathematische Modelle	6
1.4.1	Differentialgleichungen	7
1.4.2	Zustandsgleichungen	7
1.4.3	Übertragungsfunktionen	10
1.4.4	Strukturbilder	11
1.4.5	Algebraische Schleifen	12
2	Das Computeralgebra-System Maple – Grundlagen	15
2.1	Maple-Arbeitsblätter	15
2.1.1	Dokument- und Worksheet-Modus	15
2.1.2	Eingaben im Worksheet-Modus	18
2.1.3	Paletten und Symbolnamen	19
2.1.4	Kontextmenüs	20
2.1.5	Griechische Buchstaben	21
2.1.6	Units/ Einheiten	21
2.1.7	Gestaltung und Formatierung der Maple-Dokumente	21
2.1.8	Packages	23
2.1.9	Maple-Initialisierungsdateien	23
2.2	Variablen, Folgen, Listen, Mengen, Vektoren und Matrizen	24
2.2.1	Variablen	24
2.2.2	Folgen und Listen	26
2.2.3	Mengen (sets)	27
2.2.4	Tabellen	28
2.2.5	Vektoren und Matrizen	29
2.2.6	Der map-Befehl	32
2.2.7	Der zip-Befehl	32
2.3	Zahlen, mathematische Funktionen und Konstanten	33
2.3.1	Zahlendarstellung	33
2.3.2	Konvertierung in Gleitpunktzahl mittels evalf	35
2.3.3	Interne Zahlendarstellung	36
2.3.4	Rechnen mit der Hardware-Gleitpunktarithmetik	37
2.3.5	Mathematische Funktionen	37
2.3.6	Nutzerdefinierte Konstanten	37
2.4	Umformen und Zerlegen von Ausdrücken und Gleichungen	38
2.4.1	Vereinfachung durch Vorgabe von Annahmen	38
2.4.2	Vereinfachungen mit dem Befehl simplify	39
2.4.3	Umformung von Polynomen und rationalen Ausdrücken	41
2.4.4	Zerlegen von Gleichungen und Quotienten	44

2.4.5	Ersetzen und Auswerten von Ausdrücken	45
2.4.6	Operationen auf der Ebene der internen Datenstruktur	48
2.5	Grafische Darstellungen	49
2.5.1	Erzeugung zweidimensionaler Grafiken	50
2.5.2	Das Grafik-Paket plots	55
2.5.3	Texte und Symbole in Grafiken	60
2.5.4	Animationen unter Maple	62
2.5.5	Der Befehl plotsetup	63
2.6	Komplexe Zahlen und Zeigerdarstellungen	63
2.6.1	Komplexe Zahlen und komplexe Ausdrücke	63
2.6.2	Zeigerdarstellung im Grafikpaket plots	67
2.7	Lösen von Gleichungen, Ungleichungen, Gleichungssystemen	71
2.7.1	Symbolische Lösung von Gleichungen und Ungleichungen mit solve	71
2.7.2	Symbolische Lösung von Gleichungssystemen	73
2.7.3	Numerische Lösung von Gleichungen und Gleichungssystemen mit fsolve ...	74
2.8	Definition von Funktionen und Prozeduren	75
2.8.1	Funktionen mit einer oder mehreren Variablen	75
2.8.2	Umwandlung eines Ausdrucks in eine Funktion (unapply)	76
2.8.3	Zusammengesetzte Funktionen (piecewise)	76
2.8.4	Approximation von Funktionen	77
2.8.5	Prozeduren	79
2.9	Differentiation und Integration	81
2.9.1	Ableitung eines Ausdrucks: diff, Diff	81
2.9.2	Der Differentialoperator D	82
2.9.3	Integration eines Ausdrucks: int, Int	84
2.9.4	Numerische Integration	86
2.10	Speichern und Laden von Dateien	86
2.11	Programmverzweigungen und Programmschleifen	88
2.11.1	Verzweigungsanweisung if-then-else	88
2.11.2	Schleifenanweisungen	89
2.11.3	Sprungbefehle für Schleifen	91
2.11.4	Wirkung der Umgebungsvariablen printlevel	91
2.12	Eingebettete Komponenten, DocumentTools und Startup-Code	92
2.12.1	Das Paket DocumentTools	93
2.12.2	Startup-Code	93
2.12.3	Beispiel „Ortskurve“	93
3	Lösen von gewöhnlichen Differentialgleichungen	97
3.1	Einführung	97
3.2	Analytische Lösung von Differentialgleichungen	98
3.2.1	Die Befehle dsolve und odetest	98
3.2.2	Differentialgleichungen 1. Ordnung	99
3.2.3	Abschnittsweise definierte Differentialgleichungen 1. Ordnung	105
3.2.4	Differentialgleichungen 2. und höherer Ordnung	107
3.2.5	Differentialgleichungssysteme	112

3.3	Laplace-Transformation	113
3.3.1	Maple-Befehle für Transformation und Rücktransformation	113
3.3.2	Lösung gewöhnlicher Differentialgleichungen	114
3.3.3	Die Befehle addtable und savetable	116
3.4	Numerisches Lösen gewöhnlicher Differentialgleichungen	118
3.4.1	Einführende Beispiele	119
3.4.2	Steuerung der Ergebnisausgabe über die Option output	124
3.4.3	Steuerung der Ergebnisausgabe über die Optionen range und maxfun	127
3.4.4	Ereignisbehandlung bei Anfangswertproblemen	128
3.4.5	Numerische Methoden für Anfangswertaufgaben	133
3.4.6	Anwendung von fsolve auf Lösungen von dsolve/numeric	137
3.4.7	Differentialgleichungen mit Totzeiten	138
3.5	Das Paket DynamicSystems	143
3.5.1	Einführung	143
3.5.2	Demonstrationsbeispiel: Drehzahlregelung eines Gleichstromantriebs	145
4	Modellierung und Analyse elektrischer Netzwerke	159
4.1	Vorbemerkungen und Überblick	159
4.2	Ermittlung von Modellen in Zustandsraumdarstellung	160
4.2.1	Grundlagen	160
4.2.2	Methode der Modellierung	162
4.2.3	Netzwerke mit abhängigen Induktivitäten	168
4.2.4	Netzwerke mit abhängigen Kapazitäten	173
4.2.5	Netzwerke mit magnetischer Kopplung	177
4.3	Netzwerksmodelle im Bildbereich	179
4.3.1	Laplace-Transformation, Impedanzoperatoren, Überlagerungsprinzip	179
4.3.2	Modellierung gekoppelter Stromkreise	184
4.4	Komplexe Wechselstromrechnung und Ortskurven	195
4.4.1	Rechnen mit komplexen Größen	195
4.4.2	Ortskurven	199
4.4.3	Komplexe Netzwerksberechnung mit dem Maschenstromverfahren	204
4.5	Analyse elektrischer Netzwerke mit dem Maple-Paket Syrup	207
4.5.1	Beschreibung der Netzwerke	207
4.5.2	Analyse von Netzwerken mit dem Befehl Solve	209
4.6	Modellierung realer Bauelemente elektrischer Systeme	214
4.6.1	Spulen, Kondensatoren und technische Widerstände	214
4.6.2	Magnetisierungskennlinie und magnetische Sättigung	215
4.6.3	Sonstige Elemente elektrischer Systeme	217
4.6.4	Konzentrierte oder verteilte Parameter?	217
5	Modellierung und Analyse mechanischer Systeme	221
5.1	Grundelemente mechanischer Modelle	221
5.2	Systemparameter	222
5.2.1	Masse und Massenträgheitsmoment	223
5.2.2	Federsteifigkeit	225
5.2.3	Dämpfung	226

5.2.4	Reibung	228
5.2.5	Lose (Spiel)	230
5.3	Grundgleichungen für die Modellierung mechanischer Systeme	231
5.3.1	Modellierung nach der Newton-Euler-Methode	231
5.3.2	Grundgesetz der Dynamik für geradlinige Bewegung	232
5.3.3	Grundgesetz der Dynamik für rotierende Bewegung um eine feste Achse	240
5.3.4	Transformation von Systemgrößen durch Getriebe	240
5.3.5	Beispiel: Rotierendes Zweimassensystem	243
5.4	Lagrangesche Bewegungsgleichungen 2. Art	249
5.5	Torsionsschwingungen mit Übertragungsmatrizen berechnen	258
5.5.1	Grundlagen	258
5.5.2	Berechnung der Zustandsvektoren	261
5.5.3	Berechnung der Eigenkreisfrequenzen	263
5.5.4	Amplituden A_i und der Amplitudenverhältnisse der Drehmassen	264
5.5.5	Darstellung der Eigenschwingformen	265
5.5.6	Ermittlung der Momente	266
5.5.7	Rotierende Systeme mit beliebiger Zahl von Drehmassen	267
5.5.8	Abschließende Bemerkungen	270
	Literatur	271
6	Modellbildung durch diskrete Approximation	273
6.1	Prinzipien der Approximation	273
6.2	Polynominterpolation	274
6.2.1	Der Befehl PolynomialInterpolation	275
6.2.2	Der Befehl ArrayInterpolation	277
6.2.3	Der Befehl Spline	279
6.3	Rationale Interpolation	281
6.3.1	Befehl RationalInterpolation	281
6.3.2	Unerreichbare Punkte	287
6.4	Approximation mit der Methode der kleinsten Quadrate	288
6.4.1	Befehl LeastSquares im Paket CurveFitting	289
6.4.2	Befehle Fit, LinearFit und NonlinearFit des Pakets Statistics	290
6.4.3	Die Befehle ExponentialFit, LogarithmicFit, PolynomialFit und PowerFit	293
6.5	Approximation von Magnetisierungskennlinien	296
6.5.1	Modellierung mittels Spline-Interpolation	296
6.5.2	Modellierung von $H(B)$ mittels sinh-Funktion	298
6.5.3	Abschnittsweise Modellierung von $B(H)$ mit rationaler Interpolation	300
7	MapleSim und das MapleSim-API	303
7.1	Objektorientierte Modellierung und Modelica [®]	303
7.1.1	Die Modellierungssprache Modelica	303
7.1.2	Modelica-Bibliotheken	306
7.1.3	Die Modelica-Komponente Drehmasse (Inertia)	307
7.1.4	Die Modelica-Komponenten Kupplung (Clutch) und Bremse (Brake)	307

7.2	Modellierung und Simulation mit MapleSim	310
7.2.1	Objektdiagramme.....	310
7.2.2	Das MapleSim-Fenster/ Parametereinstellung	312
7.2.3	Das Fenster Analysis Window.....	315
7.2.4	Simulation fortsetzen.....	318
7.2.5	Bildung von Sub-Systemen	319
7.2.6	MapleSim-Bibliotheken.....	321
7.3	Analysieren der Modelle von MapleSim in Maple-Worksheets.....	326
7.3.1	Überblick.....	326
7.3.2	Die Befehle GetModel, ListSubsystems und GetSubsystemName.....	328
7.3.3	Der Befehl Simulate.....	328
7.3.4	Die Befehle GetEquations und GetVariables	330
7.3.5	Die Befehle GetSubstitutions und SetSubstitutions	331
7.3.6	Die Befehle GetParameters und SetParameters.....	333
7.3.7	Der Befehl GetCompiledProc.....	338
7.4	Schlussbemerkungen.....	339
8	Brücken von Maple zu MATLAB und Scilab.....	341
8.1	Das Maple-Paket Matlab.....	341
8.2	Maple und Scilab/ Xcos	347
8.2.1	Austausch von numerischen Daten über Dateien	348
8.2.2	Die Maple-Prozedur maple2scilab.....	352
9	Ausgewählte Beispiele.....	355
9.1	Verladebrücke	355
9.2	Dynamisches Verhalten eines Gleichstromantriebs.....	361
9.2.1	Sprungförmige Änderung der Ankerspannung.....	363
9.2.2	Periodische Änderung des Widerstandsmoments.....	367
9.3	Modell eines Drehstrom-Asynchronmotors berechnen	368
9.3.1	Gleichungen der Drehstrom-Asynchronmaschine.....	369
9.3.2	Stromortskurve und Anlasswiderstand eines Schleifringläufermotors	373
9.3.3	Weitere Auswertungen des Modells.....	378
9.4	Drehzahlregelung eines Gleichstromantriebs	381
9.4.1	Beschreibung des Befehls SystemConnect.....	383
9.4.2	Lösung der Beispielaufgabe.....	384
9.5	Einschaltstrom eines Einphasen-Transformators.....	388
9.5.1	Lineare Beziehung zwischen i und Φ	389
9.5.2	Nichtlineare Beziehung zwischen i und Φ	391
9.5.3	Fourieranalyse des Einschaltstroms des Transformators.....	394
9.6	Antriebssystem mit elastisch gekoppelten Massen.....	396
9.6.1	Torsion und Drehmomentschwingungen der Welle.....	397
9.6.2	Übertragungsfunktionen und Frequenzkennlinien	402
9.7	Schwungmassenanlauf von Asynchronmotoren	405
9.7.1	Momentkennlinie und Bewegungsgleichung	405
9.7.2	Lösung der Bewegungsgleichung für den Anlaufvorgang.....	407
9.7.3	Lösung der Bewegungsgleichung für den Reversiervorgang.....	410

9.8	Rotierendes Zweimassensystem mit Spiel	412
9.8.1	Antrieb durch konstantes Moment	413
9.8.2	Antriebsmoment mit periodisch wechselndem Vorzeichen	415
9.9	Modellierung und Simulation von Stromrichterschaltungen	418
9.9.1	Modellierung von Halbleiterdioden und Thyristoren	418
9.9.2	Stromrichter in Zweipuls-Mittelpunktschaltung	420
9.9.3	Stromrichter in Zweipuls-Brückenschaltung	427
9.10	Ausgleich von Messwerten in elektrischen Verteilungsnetzen	433
9.10.1	Problemstellung und Grundprinzip der Lösung	433
9.10.2	Berechnung der Ausgleichswerte	434
9.11	Pressenantrieb	438
Anhang A		451
A.1	Mathematische Standardfunktionen (Auswahl)	451
A.2	Maple-Befehle (Auswahl)	452
A.3	Befehlsübersicht zum Kapitel 2	455
A.3	Befehlsübersicht zum Kapitel 2 (Fortsetzung)	456
A.4	Funktion convert	457
A.5	Der Ausgabebefehl printf	458
A.6	Befehle für die Ein- und Ausgabe von Daten (Auswahl)	459
A.7	Befehle für komplexe Zahlen und Ausdrücke	460
A.8	Griechische Buchstaben	461
Anhang B Graphik		463
B.1	Optionen der Funktion plot	463
B.2	Befehle des Graphik-Pakets plots	465
B.3	2D-Objekte des Pakets plottools	467
Anhang C Numerische Lösung von Anfangswertproblemen		468
C.1	Grundprinzip numerischer Lösungsverfahren	468
C.2	Genauigkeit und Konsistenzordnung	471
C.3	Stabilität	473
C.3.1	Der Stabilitätsbegriff	473
C.3.2	A-Stabilität	476
C.3.3	Steife Differentialgleichungssysteme	476
C.4	Grundtypen von Lösungsverfahren	476
C.4.1	Einschrittverfahren	477
C.4.2	Mehrschrittverfahren	480
Anhang D: Paket LinearAlgebra (Auswahl)		482
D.1	Befehle für Vektoren	482
D.2	Befehle für Matrizen	483
Anhang E: Paket DynamicSystems (Auswahl)		485

E.1 Globale Variablen von DynamicSystems	485
E.2 Erzeugen von Objekten kontinuierlicher dynamischer Systeme	486
E.3 Analyse, Manipulation und Konvertierung von Objekten	487
E.4 Grafische Darstellungen	489
E.5 Signalerzeugung	490
E.6 Verbindung von Objekten	491
E.7 Simulationen.....	492
Sachwortverzeichnis.....	495