

Inhalt

Vorwort	V	
1	Einleitung	1
2	Einführung in MATLAB	11
2.1	Eingaben.....	12
2.1.1	Direkte Eingabe.....	12
2.1.2	Der MATLAB-Editor.....	12
2.1.3	Indirekte Eingabe über Skript-Dateien	12
2.1.4	Indirekte Eingabe über Funktionsdateien	13
2.1.5	Kommandos im Zusammenhang mit function	14
2.2	Kommandos, Operationen, Werte, Funktionen	15
2.2.1	Nützliche Kommandos.....	15
2.2.2	Grundoperationen mit den Variablen a und b	16
2.2.3	Spezielle Werte und Variable, Cell Arrays	16
2.2.4	Auswahl häufig benötigter Funktionen	17
2.2.5	Operationen mit komplexen Zahlen	17
2.2.6	Trigonometrische Funktionen	18
2.3	Matrizen	21
2.3.1	Matrizen und die Eingabe ihrer Elemente	24
2.3.2	Eigenschaften einer Matrix	25
2.3.3	Spezielle Matrizen.....	29
2.3.4	Operationen mit einer Matrix	30
2.3.5	Operationen mit Matrizen	31
2.3.6	Bilden erweiterter Matrizen.....	32
2.4	Vektoren.....	35
2.4.1	Skalar und Vektor.....	35
2.4.2	Vektoren und die Eingabe ihrer Elemente.....	35
2.4.3	Operationen mit Vektoren	36
2.4.4	Operationen mit Vektoren – Element mit Element	45
2.5	Polynome.....	45
2.5.1	Eingabe von Polynomen.....	45
2.5.2	Der Grad eines Polynoms.....	46
2.5.3	Operationen mit Polynomen.....	46

2.6	Graphische Darstellungen	50
2.7	Function Handles	55
3	Einführung in Simulink	57
3.1	Der Funktionsblock	57
3.2	Eingabe- und Ausgabeblöcke	58
3.2.1	Übergabe von Daten der Eingangssignale an das Modell	58
3.2.2	Ergebnisdarstellung und Ausgabe der Simulationsdaten	59
3.3	Signalverbindungen – Informationsaustausch	61
3.4	Algebraische Schleifen – Algebraic Loops	63
3.4.1	Systeme mit proportionalem sprungfähigem Verhalten	63
3.4.2	Algebraische Schleifen	64
3.4.3	Auflösen einer algebraischen Schleife	64
3.4.4	Einfügen eines Algebraic Constraint-Blockes	68
3.5	S-Functions	70
3.6	Maskieren von Systemen	73
3.7	Embedded MATLAB Functions	78
4	Modellbildung	83
4.1	Das mathematische Modell	83
4.1.1	Variable	83
4.1.2	Gleichungen	84
4.1.3	Nebenbedingungen	84
4.1.4	Arten der Simulation mit mathematischen Modellen	84
4.1.5	Mathematische Modelle und Systeme	84
4.1.6	Mathematisches Modell zweier konkreter linearer Systeme	85
4.1.7	Signalflussplan eines abstrakten linearen Systems 1. Ordnung	89
4.1.8	Mathematisches Modell eines konkreten nichtlinearen Systems	90
4.1.9	Die numerische Lösung der Modellgleichungen	91
4.2	Prozessanalyse	94
4.2.1	Methoden der Prozessanalyse	94
4.2.2	Ablauf der Prozessanalyse	94
4.3	Erhaltungssatz der Masse	95
4.3.1	Massenbilanz	95
4.3.2	Energie-Masse-Beziehung	96
4.4	Erhaltungssatz der Energie – Energiebilanz	96
4.4.1	Potenzielle Energie	98
4.4.2	Kinetische Energie	99
4.4.3	Dissipation der Energie	99

4.4.4	Lagrange'sche Bewegungsgleichung 2. Art.....	100
4.4.5	Wärmeenergie	102
4.5	Erhaltungssatz des Impulses – Impulsbilanz	105
4.6	Beschreibung im Zustandsraum	105
4.6.1	Grundlagen zur Beschreibung konkreter Systeme	105
4.6.2	Allgemeine Aussagen zur Zustandsraumbeschreibung	106
4.6.3	Geometrische Deutung der Zustandsraumbeschreibung	107
4.6.4	Das Zustandsmodell	108
4.6.5	Zustandsgrößen	109
4.6.6	Systemgleichungen nichtlinearer dynamischer Systeme.....	110
4.7	Linearisierung nichtlinearer zeitinvariante Systeme	113
4.7.1	Ableitung der Matrizen des linearisierten Systems	113
4.7.2	Nichtlineare Vektorfunktion f der Differenzialgleichung	114
4.7.3	Nichtlineare Vektorfunktion g der Ausgangsgleichung	114
4.7.4	Systemmatrix A	115
4.7.5	Steuermatrix B	115
4.7.6	Störmatrix B_z	116
4.7.7	Ausgangsmatrix C	116
4.7.8	Durchgangsmatrix D der Steuergrößen	117
4.7.9	Durchgangsmatrix D_z der Störgrößen	117
4.8	Standardform linearer, zeitinvariante Systeme	117
4.8.1	Mehrgrößensysteme	117
4.8.2	Die linearen Systemgleichungen	118
4.8.3	Eingrößensysteme	119
5	Systeme und ihre Modelle	121
5.1	Das System Stab-Wagen	121
5.1.1	Verallgemeinerte Koordinaten des Systems Stab-Wagen	122
5.1.2	System Stab-Wagen – nichtlineares Modell.....	123
5.1.3	Nichtlineare Differenzialgleichungen	126
5.1.4	System Stab-Wagen – linearisiertes Modell.....	129
5.2	Antrieb.....	136
5.2.1	Verallgemeinerte Koordinaten des Antriebs	136
5.2.2	Kinetische Energien	137
5.2.3	Potenzielle Energien des Antriebs.....	138
5.2.4	Dissipationen der Energie des Antriebs.....	139
5.2.5	Potenziale	139
5.2.6	Differenzialgleichung für die Geschwindigkeit	140
5.2.7	Differenzialgleichung für den Ankerstrom.....	141
5.2.8	Zustandsmodell des Antriebs	142
5.2.9	Vereinfachtes Modell des Antriebs	144

5.3	Inverses Pendel	150
5.3.1	Bewegungsgleichungen des Systems 5. Ordnung	150
5.3.2	Linearisiertes Modell 5. Ordnung	153
5.3.3	Linearisiertes Zustandsmodell 5. Ordnung	154
5.3.4	Linearisiertes Modell 4. Ordnung	155
5.3.5	Linearisiertes Zustandsmodell 4. Ordnung	156
5.3.6	Eigenwerte des Inversen Pendels	157
5.3.7	Funktion zur Berechnung der Modellgleichungen	157
5.3.8	Signalflussplan des Inversen Pendels	160
5.4	Regelkreis	160
5.4.1	Regelstrecke – Inverses Pendel	160
5.4.2	Regeleinrichtung	170
5.4.3	Übertragungsfunktion der offenen Kette	175
5.4.4	Regelkreis	176
5.4.5	Simulation	180
5.5	Elektrisches Netzwerk – sprungfähiges System	183
5.5.1	Das mathematische Modell	184
5.5.2	Berechnung der Systemgleichungen mit nw_spf	188
5.5.3	Übertragungsfunktion	189
5.5.4	Signalflussplan	189
5.6	RLC-Netzwerk als Brückenschaltung	190
5.6.1	Mathematisches Modell	190
5.6.2	Vektor-Matrix-Gleichungen des Zustandsmodells	193
5.6.3	Berechnung der Systemgleichungen mit bruecke	194
5.6.4	Signalflussplan der Brückenschaltung	196
5.6.5	Übertragungsfunktion der Brückenschaltung	196
5.6.6	Parameterproportionen der Brückenschaltung	197
6	Mathematische Beschreibung linearer, zeitinvarianter Systeme	199
6.1	Lineare Übertragungsglieder	200
6.1.1	Eindeutigkeit und Linearität	200
6.1.2	Aktive und passive Übertragungsglieder	201
6.1.3	Speichervermögen von Übertragungsgliedern	201
6.1.4	Prinzipien linearer Übertragungsglieder	201
6.2	Lineare Differenzialgleichungen und ihre Lösung	203
6.2.1	Grundlagen	203
6.2.2	Numerische Lösung von Differenzialgleichungen	204
6.3	Die LaplaceTransformation	208
6.3.1	Definition der LaplaceTransformation	208
6.3.2	Die M-functions laplace und ilaplace	209
6.3.3	Regeln für das Rechnen mit der LaplaceTransformation	211
6.3.4	Lösen linearer, zeitinvarianter Differenzialgleichungen	218

6.4	Die Übertragungsfunktion	226
6.4.1	Übertragungsfunktion in der Polynomform	227
6.4.2	Übertragungsfunktion in der Pol-Nullstellen-Form.....	230
6.4.3	Übertragungsfunktion in der Zeitkonstantenform	232
6.5	Der Frequenzgang	233
6.5.1	Antwort auf ein komplexes Eingangssignal	233
6.5.2	Die Ortskurve des Frequenzganges	235
6.5.3	Berechnung der Ortskurve mit der M-function nyquist.....	236
6.5.4	Spezielle Punkte der Ortskurve	236
6.6	Das Frequenzkennlinien-Diagramm.....	244
6.6.1	Systeme minimaler Phase und Allpassglieder.....	244
6.6.2	Logarithmischer Amplituden- und Phasengang	245
6.6.3	Amplituden- und Phasengänge mit der M-function bode.....	247
6.6.4	Bode-Diagramme typischer Grundglieder.....	247
6.6.5	Bode-Diagramme von Systemen nichtminimaler Phase	256
6.7	Das Wurzelortverfahren	265
6.7.1	Einführung.....	265
6.7.2	Die Methode der Wurzelortskurve nach Evans	268
6.7.3	Die Wurzelortskurve mit der M-function rltool	280
6.7.4	Das Wurzelortverfahren für beliebige Parameter	281
7	Testsignale und Zeitantworten	287
7.1	Anfangswertantwort mit der M-function initial	287
7.2	Sprungantwort – Übergangsfunktion	289
7.2.1	Einheitssprung	289
7.2.2	Sprungantwort	290
7.2.3	Übergangsfunktion	290
7.2.4	Die Übergangsfunktion mit der M-function step.....	290
7.3	Impulsantwort – Gewichtsfunktion	292
7.3.1	Die Impulsfunktion	292
7.3.2	Die Stoßfunktion	293
7.3.3	Die Gewichtsfunktion	294
7.3.4	Die Gewichtsfunktion mit der M-function impulse.....	295
7.4	Antwort auf beliebige Signale mit der M-function lsim	297
7.5	Der LTI Viewer mit der M-function ltiview	301
8	Systemeigenschaften	303
8.1	Das Schwingungsglied	303
8.1.1	Differenzialgleichung eines Schwingungsgliedes	303
8.1.2	Übertragungsfunktion eines Schwingungsgliedes.....	304
8.1.3	Kenngrößen eines Schwingungsgliedes	304
8.1.4	Die Gewichtsfunktion eines Schwingungsgliedes	305

8.1.5	Die Übergangsfunktion eines Schwingungsgliedes	306
8.1.6	Die Einhüllenden der Übergangsfunktion	306
8.1.7	Eigenschaften eines Übertragungsgliedes mit der M-function damp	306
8.2	Stationäre Verstärkung mit der M-function degain	309
8.3	Eigenschaften der Systemmatrix A	311
8.3.1	Lösungsansatz für die Eigenbewegung des Systems	312
8.3.2	Poly, roots und eig zur Berechnung von Systemgrößen	314
8.4	Stabilität linearer Systeme	316
8.4.1	Lösungen der charakteristischen Gleichung	317
8.4.2	Das Hurwitz-Kriterium	319
8.4.3	Von der offenen Kette zum geschlossenen Kreis	320
8.4.4	Das Nyquist-Kriterium	321
8.4.5	Das allgemeine Nyquist-Kriterium	322
8.4.6	Stabilitätswerte mit der M-function margin	323
8.4.7	Stabile offene Systeme mit Totzeit	326
8.5	Normalformen der Systemmatrix	331
8.5.1	Die Diagonalform der Zustandsgleichungen	331
8.5.2	Regelungsnormalform für Eingrößensysteme	335
8.5.3	Beobachtungsnormalform für Eingrößensysteme	341
8.5.4	Regelungs- und Beobachtungsnormalform mit der M-function ss2ss	345
8.6	Steuerbarkeit und Beobachtbarkeit	346
8.6.1	Steuerbarkeit	346
8.6.2	Kriterium der Steuerbarkeit nach Kalman	349
8.6.3	Beobachtbarkeit	351
8.6.4	Kriterium der Beobachtbarkeit nach Kalman	353
8.6.5	Kanonische Zerlegung eines Systems	355
8.6.6	Minimalkonfiguration eines Systems	361
8.7	Transformationen	366
8.7.1	Zustandsmodelle	366
8.7.2	Übertragungsfunktion in Polynomform	373
8.7.3	Übertragungsfunktion in Pol-Nullstellen-Form	376
8.7.4	Signalflussplan	377
9	Kopplung von Systemen	381
9.1	Beschreibung durch Übertragungsfunktionen	381
9.1.1	Reihenschaltung mit der M-function series	381
9.1.2	Parallelschaltung mit der M-function parallel	383
9.1.3	Rückführschaltung mit der M-function feedback	384
9.2	Beschreibung durch Zustandsgleichungen	386
9.2.1	Vereinigung nicht gekoppelter Systeme mit der M-function append	387
9.2.2	Reihenschaltung mit der M-function series	388

Inhalt	XV
9.2.3 Parallelschaltung mit der M-function parallel	392
9.2.4 Rückführschaltung mit der M-function feedback	396
10 Literaturverzeichnis	403
Index	413