
Inhaltsverzeichnis

1	Einführung und Überblick	1
1.1	Allgemeines	1
1.2	Entwicklungsprozesse für Automatisierungslösungen	4
1.2.1	Klassische Entwicklungsprozesse	4
1.2.2	Entwicklungsprozess mit Rapid Control Prototyping	7
1.3	Der Systembegriff	10
1.4	Modelle	14
1.5	Beispiele	17
1.5.1	Doppelpendel	17
1.5.2	Dreitank	18
1.6	Rechnerwerkzeuge	18
1.6.1	MATLAB/SIMULINK	20
2	Beschreibung dynamischer Systeme	23
2.1	Allgemeines	23
2.2	Lineare Differentialgleichungen mit konstanten Koeffizienten	25
2.3	Laplace-Transformation	27
2.4	Anwendung der Laplace-Transformation	31
2.5	Frequenzgang	40
2.6	Darstellung von Frequenzgängen	44
2.7	Lineare Regelkreisglieder	46
2.7.1	P, I, D	52
2.7.2	PI, PD, PID	52
2.7.3	PT ₁ , PT ₂ , PT _n	56
2.7.4	DT ₁	59
2.7.5	PT _t	60
2.8	Lineare Differenzengleichungen mit konstanten Koeffizienten	61
2.9	Z-Transformation	63
2.10	Zustandsraum	65
2.11	Darstellung dynamischer Systeme mit MATLAB	72

3 Physikalische Modellbildung	77
3.1 Kontinuierliche Modellbildung	79
3.1.1 Aufstellen von Differentialgleichungen	80
3.1.2 Wirkungsplan	85
3.1.3 Modularisierte Umsetzung in SIMULINK	89
3.2 Ereignisdiskrete Modellbildung	94
3.2.1 Eigenschaften von Beschreibungsmitteln	94
3.2.2 Graphen	96
3.2.3 Statecharts (Harel-Graphen)	100
3.2.4 Petrinetze	109
3.2.5 Weitere Beschreibungsmittel	114
3.3 Hybride Modellbildung	119
3.3.1 Getrennte Modellierung am Beispiel STATEFLOW	122
3.3.2 Erweiterungen von Beschreibungsmitteln	127
3.4 Modellabstraktionen	131
3.4.1 Diskrete Abstraktionen	132
3.4.2 Kontinuierliche Abstraktionen	133
4 Identifikation	137
4.1 Grundlagen, Ziele und Modelle	137
4.2 Nichtparametrische Identifikation	140
4.2.1 Allgemeines	140
4.2.2 Frequenzgangmessung mit determinierten Signalen	140
4.2.3 Fourier-Transformation und FFT	142
4.2.4 Frequenzgangmessung mit stochastischen Signalen	149
4.3 Parametrische Identifikation	154
4.3.1 Allgemeines	154
4.3.2 Nichtrekursive Parameterschätzung	157
4.3.3 Rekursive Parameterschätzung	161
4.3.4 Parameterschätzung am Einfachpendel	163
4.3.5 Interpretation geschätzter Parameter	168
4.3.6 Identifikation bei adaptiver Regelung	175
4.4 Anwendung parametrischer Identifikationsverfahren auf nichtparametrische und nichtlineare Prozessmodelle	179
4.4.1 Gewichtsfolgenschätzung	179
4.4.2 Identifikation nichtlinearer Prozesse	181
4.5 Abtasttheorem nach Shannon	184
4.6 Praktischer Einsatz mit einem Software-Werkzeug	195
5 Grundzüge des Regelungs- und Steuerungsentwurfs	197
5.1 Regelungstechnik vs. Steuerungstechnik	197
5.2 Grundlagen Regelkreis	199
5.2.1 Bezeichnungen	199
5.2.2 Eigenschaften	202
5.3 Entwurfsverfahren für Regelungen	205

5.3.1	Entwurf der Regelkreisstruktur	206
5.3.2	Entwurf der Reglerstruktur	208
5.3.3	Entwurf der Reglerparameter einschleifiger Regelkreise .	208
5.3.4	Weitere Entwurfsverfahren	222
5.4	Grundlagen Steuerkreis	235
5.4.1	Begriffsdefinitionen	236
5.4.2	Steuerungsziel	238
5.4.3	Steuerungsarten	238
5.5	Entwurfsverfahren diskreter Steuerungen	241
5.5.1	Heuristischer Entwurf	241
5.5.2	Modellgestützte Entwurfsverfahren	243
6	Simulation	255
6.1	Modelle und Ziele der Simulation	255
6.2	Simulation kontinuierlicher Prozesse	257
6.2.1	Verfahren zur Simulation kontinuierlicher Prozesse	257
6.2.2	Werkzeuge zur Simulation kontinuierlicher Prozesse	269
6.3	Diskrete Simulation	280
6.4	Hybride Simulation	285
6.4.1	Problemstellung	285
6.4.2	MATLAB/SIMULINK/STATEFLOW	288
7	Rapid Control Prototyping	295
7.1	Anforderungen an ein RCP-System	295
7.2	Echtzeitprogrammierung	297
7.3	Entwicklungsphasen	302
7.3.1	Systemsimulation	302
7.3.2	Software-in-the-Loop	303
7.3.3	Hardware-in-the-Loop	304
7.3.4	Zusammenfassung Entwicklungsphasen	305
7.4	Codegenerierung	305
7.5	Hardware-/Software-Konfigurationen	310
7.5.1	The MathWorks	311
7.5.2	dSPACE	311
7.5.3	National Instruments	313
7.5.4	Visual Solutions	314
7.5.5	MODELICA/DYMOLA	315
7.5.6	Diverse Zielhardware	316
7.5.7	Zusammenfassung Hardware-/Softwarekonfigurationen .	317
8	Anhang	319
8.1	Mathematische Grundlagen	319
8.1.1	Matrizenrechnung	319
8.1.2	Operationen	322
8.2	Beispielaufgaben mit Lösungen	325

8.2.1	Kontinuierliche Modellbildung für ein Dreitanksystem	325
8.2.2	Ereignisdiskrete und hybride Modellbildung am Dreitanksystem	330
8.2.3	Nichtparametrische Identifikation	340
8.2.4	Nichtrekursive Parametrische Identifikation	343
8.2.5	Regelungsentwurf für das Dreitanksystem	349
8.2.6	Erweiterung des Dreitanksystems um eine Ablaufsteuerung	355
8.2.7	Numerische Integrationsverfahren zur Simulation	362
8.2.8	Simulation objektorientierter Modelle mit DYMOLA	368
8.2.9	Rapid Control Prototyping am Beispiel Dreitanksystem	375
Literatur	391
Index	395