

Dipl.-Ing. Klaus Henneberger, Erlangen

Regelung nichtlinearer Systeme auf der Basis bilinearer Approximations- modelle

Reihe **8**: Meß-, Steuerungs-
und Regelungstechnik

Nr. **595**

Inhaltsverzeichnis

Liste wichtiger Formelzeichen und Symbole	IX
1 Einleitung	1
2 Zeitkontinuierliche Bilineare Systeme	5
2.1 Systembeschreibung im Zustandsraum	5
2.2 Lösung der Zustandsgleichung	7
2.3 Steuerbarkeit und Beobachtbarkeit	10
2.3.1 Steuerbarkeits-/ Erreichbarkeitskriterium	10
2.3.2 Beobachtbarkeits-/ Unterscheidbarkeitskriterium	12
2.4 Stabilität	12
2.4.1 Methode der ersten Approximation	13
2.4.2 Direkte Methode von LYAPUNOV	15
3 Grundlagen orthogonaler Polynome	17
3.1 Eindimensionale orthogonale Polynome	18
3.1.1 Definition und Eigenschaften	19
3.1.2 Spezielle Polynomsysteme	21
3.2 Mehrdimensionale orthogonale Polynome	24
3.3 Verallgemeinerte Darstellung orthogonaler Polynome	27
3.4 Orthogonalisierung	31
3.4.1 Verwendung einer CHOLESKY-Zerlegung	31
3.4.2 Auswerten der Rekursionsbeziehungen	34
3.5 Transformation des Definitionsintervalles	35
3.6 Approximation von Funktionen und Vektorfeldern	39
3.7 Approximation von Rechenoperationen	42
3.7.1 Approximation der Integration	42
3.7.2 Approximation der Differentiation	44
3.7.3 Approximation des Produktes	45

4	Approximation nichtlinearer Differentialgleichungen	48
4.1	Verfahren von LO	50
4.1.1	Globale Bilinearisierung	51
4.1.2	Approximation durch bilineare Modelle	55
4.1.3	Wahl fiktiver Ausgangsgrößen	58
4.1.4	Beispiele	59
4.2	CARLEMAN-Linearisierung	65
4.2.1	Theoretische Grundlagen	66
4.2.2	Beispiele	72
4.3	Methode der L_2 -Approximation	78
4.3.1	Nichtlineare Systeme erster Ordnung	79
4.3.2	Nichtlineare Systeme höherer Ordnung	83
4.3.3	Beispiele	87
4.4	Vergleichende Betrachtungen	97
5	Reglersynthese auf der Basis bilinearer Approximationsmodelle	99
5.1	Lineare Zustandsregelung	104
5.1.1	Allgemeine Grundlagen	105
5.1.2	Optimale Zustandsrückführung	107
5.1.3	Zustandsreglerentwurf durch Polvorgabe	109
5.1.4	Beispiele	110
5.2	Methode der Exakten Linearisierung	124
5.2.1	Elimination des Gleichanteils durch Koordinatenverschiebung	125
5.2.2	Transformation auf Nichtlineare Beobachtbarkeitsnormalform	126
5.2.3	Ermittlung des exakt linearisierenden Stellgesetzes	131
5.2.4	Einfluß der Bilinearisierung auf den relativen Grad	139
5.2.5	Modifikation des exakt linearisierenden Stellgesetzes zur Regelung nicht minimalphasiger Systeme	142
5.2.6	Regelbarkeitsdefekte durch exakt bilinearisierbare Teilsysteme	150
5.3	Vergleichende Betrachtungen	155

6 Beobachterkonzepte	157
6.1 Nichtlineare Beobachterkonzepte	160
6.1.1 Beobachterentwurf durch Linearisierung der Fehler-Dgl.	161
6.1.2 Beobachter mit linearer Fehlerdynamik	162
6.1.3 Beobachterentwurf mit Hilfe der LYAPUNOV-Theorie	164
6.2 Beobachter im Regelkreis	165
7 Zusammenfassung und Ausblick	167
Anhang	173
A Daten des Beispielsystems	173
B Entwurf linearer Zustandsrückführungen für nicht steuerbare Systeme . . .	175
C MatLab-Funktionen	177
C.1 Datenstruktur zur Verwaltung mehrdimensionaler Polynome	177
C.2 Beschreibung der MatLab-Funktionen	180
C.3 Anwendungsbeispiel	187
C.4 Programmlistings	188
Literaturverzeichnis	205
Stichwortverzeichnis	211