

Günter Ludyk

Theoretische Regelungstechnik 2

Zustandsrekonstruktion,
optimale und nichtlineare Regelungssysteme

Mit 127 Abbildungen

Springer-Verlag

Berlin Heidelberg New York

London Paris Tokyo

Hong Kong Barcelona Budapest

Inhaltsverzeichnis

7	Beobachtbarkeit und Zustandsrekonstruktion	1
7.1	Beobachtbarkeit	1
7.1.1	Grundlagen und Definitionen	1
7.1.2	Beobachtbarkeit und Rekonstruierbarkeit linearer Systeme	6
7.1.3	Beobachtbare Unterräume	17
7.2	Kanonische Systemzerlegung nach KALMAN und Minimalrealisierung	19
7.3	Beobachtbarkeit zeitdiskreter Systeme	29
7.3.1	Beobachtbarkeit von Abtastsystemen	29
7.3.2	Beobachtbarkeit und Rekonstruierbarkeit zeitdiskreter Systeme	29
7.3.3	Beobachtbarkeit und Rekonstruierbarkeit linearer zeitdiskreter Systeme	30
7.3.4	Beobachtbarkeit und Rekonstruierbarkeit linearer zeitdiskreter zeitinvarianter Systeme	33
7.4	Zustandsbeobachter	35
7.4.1	Vollständiger Zustandsbeobachter	35
7.4.2	Reduzierter Beobachter	46
7.4.3	Zeitdiskrete Beobachter	50
7.5	Zustandsrückführung über Zustandsbeobachter	55
7.6	Kompensationsregler aus der Sicht der Zustandsrückführung	58
7.6.1	Anfangsbetrachtung	58
7.6.2	Kompensationsregler	59
7.6.3	Zustandsregler-Beobachter-Konfiguration	62
7.7	Übungen zu Kapitel 7	64
8	Zustandsrückführung und -beobachtung bei Mehrfachsystemen	67
8.1	Grundlagen	67
8.2	Regelungsnormalform für Mehrfachsysteme	70
8.3	Zustandsrückführung bei Mehrfachsystemen	78
8.4	Eigenstrukturvorgabe: Modale Synthese	84
8.5	Stabilisierbarkeit	87
8.6	Mehrfachregelkreis mit PI-Zustandsregler	90
8.7	Entkopplung von Mehrfachsystemen	97
8.7.1	Grundgedanke	97
8.7.2	Entkopplung von zeitdiskreten Mehrfachsystemen	97

8.7.3	Entkopplung von zeitkontinuierlichen Mehrfachsystemen	105
8.8	Zustandsbeobachter für Mehrfachsysteme	111
8.8.1	Einführung	111
8.8.2	Grundlagen und Beobachtungsnormalform	113
8.8.3	Reduzierter Beobachter für Mehrfachsysteme	121
8.8.4	Zeitdiskrete Beobachter für Mehrfachsysteme	124
8.8.5	Reduzierter zeitdiskreter Beobachter für Mehrfachsysteme	126
8.9	Ermittelbarkeit	127
8.10	Störgrößenbeobachtung und -aufschaltung	128
8.11	Geometrische Theorie der Störgrößenentkopplung	132
8.12	Übungen zu Kapitel 8	141
9	Optimale zeitdiskrete Regelungssysteme	145
9.1	Zeitoptimale Abtastregelung	146
9.1.1	Zeitoptimale Abtastregelung ohne Beschränkung der Stellgröße .	146
9.1.2	Zeitoptimale Abtastregelung mit Beschränkung der Stellgröße .	150
9.2	Quadratisch optimale Regler	160
9.2.1	Einleitung	160
9.2.2	Ermittlung des Minimums einer Funktion mit Nebenbedingungen	162
9.2.3	Allgemeines zeitdiskretes Optimierungsproblem	166
9.2.4	Lineare quadratisch optimale Regelung	169
9.2.5	Lineare quadratisch optimale Regler für zeitinvariante Systeme .	174
9.2.6	Quadratisch optimale Folgeregung	183
9.3	KALMAN-Filter	187
9.3.1	Stochastische Signale in linearen Systemen	187
9.3.2	Herleitung des KALMAN-Filters	189
9.3.3	Stationäres KALMAN-Filter für zeitinvariante Systeme	193
9.4	Übungen zu Kapitel 9	195
10	Optimale zeitkontinuierliche Regelungssysteme	197
10.1	Einführung	197
10.2	Modifiziertes Gütekriterium und HAMILTON-Funktion	200
10.3	Das Maximumprinzip von PONTRJAGIN	201
10.4	Lineare quadratisch optimale Regelung	206
10.4.1	Zeitvariante lineare zeitkontinuierliche Systeme	206
10.4.2	Zeitinvariante lineare Systeme	211
10.4.3	Besondere quadratische Gütekriterien	214
10.4.4	Quadratisch optimale Folgeregung	215
10.4.5	Lineare quadratisch optimale Regelung mit vorgegebener Stabi- litätsgüte	220
10.5	KALMAN-BUCY-Filter	221
10.6	\mathcal{H}_∞ -Regelung, robuste Regelung	224
10.6.1	Frequenzgangmethoden für Einfachsysteme	224
10.6.2	Frequenzgangmethoden für Mehrfachsysteme	233
10.6.3	\mathcal{H}_∞ -Regelung	237
10.7	Zeitoptimale Regelungssysteme	244

10.7.1 Grundlagen	244
10.7.2 Zeitoptimale lineare zeitinvariante Systeme	247
10.8 Übungen zu Kapitel 10	260
11 Regelung nichtlinearer Systeme	263
11.1 Einführung	263
11.2 Regelungsnormform für nichtlineare Systeme	269
11.3 Erreichbarkeit nichtlinearer Systeme	278
11.4 Zustandsrückführung bei nichtlinearen Systemen	289
11.5 Transformation von nichtlinearen Systemen auf lineare Systeme	293
11.6 Weitere Transformationsmöglichkeiten nichtlinearer Systeme	296
11.7 Beobachtbarkeit nichtlinearer Systeme	303
11.8 Zustandsbeobachter für nichtlineare Systeme	307
11.9 Regelung nichtlinearer Systeme mittels Neuronaler Netze	311
11.9.1 Einführung	311
11.9.2 Neuronale Netze	312
11.9.3 Der Backpropagation-Algorithmus	315
11.9.4 Identifikation und Regelung nichtlinearer Systeme mit Hilfe Neuronaler Netze	318
11.10 Übungen zu Kapitel 11	322
Literaturverzeichnis	323
Sachverzeichnis	327