

Inhaltsverzeichnis

VERZEICHNIS DER WICHTIGSTEN FORMELZEICHEN	XI
EINLEITUNG	1
I ELEMENTE PARAMETERADAPTIVER REGELUNGEN	5
1 GRUNDLAGEN	6
1.1 Klassifikation adaptiver Regelungen	7
1.2 Funktionsweise parameteradaptiver Regelungen	11
1.3 Zum Begriff der Robustheit	14
2 PARAMETERSCHATZVERFAHREN	17
2.1 Diskretes Prozeßmodell	19
2.2 Parameterschätzung als Gleichungsproblem	24
2.2.1 Lösung überbestimmter Gleichungssysteme	24
2.2.2 Meßdatenrekursives Wurzelverfahren der Informationsform	29
2.3 Parameterschätzung als Filterproblem	31
2.3.1 Parameterrekursive Wurzelverfahren der Kovarianzform	33
2.3.2 U-D-Faktorisierung	36
2.4 Vergleich der numerischen Eigenschaften	38
2.5 Kalman-Filter-Anwendungen	42
3 DIGITALE REGELALGORITHMEN	44
3.1 Kompensationsregler	45
3.1.1 Deadbeat-Regler	45
3.1.2 Robustheit von Deadbeat-Reglern	47
3.1.3 Minimal-Varianz-Regler	50
3.1.4 Robustheit von Minimal-Varianz-Reglern	53

3.2 Zustandsregler	56
3.3 PID-Regler	63
3.3.1 Grundlagen	63
3.3.2 Entwurfsmethoden	66
3.3.3 Einstellung über die charakteristische Gleichung und das Übergangsverhalten	70
3.3.4 Robustheit von PID-Reglern	78
3.4 Vergleich der Robustheit digitaler Ein/Ausgangsregler	82
 II ROBUSTHEITSANALYSE DISKRETER QUADRATISCH OPTIMALER ZUSTANDSRÜCKFÜHRUNGEN	 85
 4 ROBUSTHEIT DISKRETER ZUSTANDSREGELUNGEN	 86
4.1 Kontinuierliche Zustandsregelung	86
4.2 Stabilitätsreserven diskreter Zustandsregelungen	90
4.3 Optimalitätsbereich diskreter Zustandsregelungen	98
4.3.1 Veränderliche Reglerverstärkung	99
4.3.2 Veränderliche Systemverstärkung	102
4.4 Eigenwertverhalten des Zustandsreglers	106
4.5 Zusammenhänge zwischen Stabilitäts- und Optimalitätsschranken; Grenzwerte	109
 5 ROBUSTHEIT DISKRETER ZUSTANDSBEOBSACHTER	 113
5.1 Dualität von Regelung und Beobachtung	113
5.2 Stabilitätsreserven diskreter Zustandsbeobachter	114
5.3 Optimalitätsbereich diskreter Zustandsbeobachter	120
5.4 Eigenwertverhalten des Beobachters	121
5.5 Zusammenhänge zwischen Stabilitäts- und Optimalitätsschranken; Grenzwerte	123
5.6 Kalman-Filter	124

6	ROBUSTHEIT DISKRETER LS-PARAMETERSCHÄTZER	128
6.1	Parameterzustandsmodell	128
6.2	Stabilitätsreserven diskreter LS-Parameterschätzer	132
6.3	Optimalitätsbereich diskreter LS-Parameterschätzer	134
6.4	Eigenwertverhalten des LS-Parameterschätzers	136
6.5	Konvergenzverhalten der Robustheitsmaße	141
III	ROBUSTE PARAMETERADAPTIVE SYSTEME FÜR ANWENDUNGSNAHE BEDINGUNGEN	149
7	ROBUSTHEIT ADAPTIVER SYSTEME	151
7.1	Stabilität und Konvergenz	151
7.1.1	Globale asymptotische Stabilität der LS-Parameterschätzung (Ljapunov-Analyse)	151
7.1.2	Stabilität des parameteradaptiven Regelkreises	154
7.2	Sektorstabilitätsüberlegungen	156
7.2.1	Zusammenschaltung von Zustandsregler und Beobachter	156
7.2.2	Parameterzustandsmodell im adaptiven Kreis	158
7.3	Adaption und Robustheit	162
7.3.1	Robustheit bei MRAC-Systemen	162
7.3.2	Robustheit bei PAC-Systemen	165
8	ADAPTIVE REGELUNG ZEITVARIANTER SYSTEME	172
8.1	Problematik	172
8.2	Veränderung von Vergessensfaktor und Kovarianzmatrix	173
8.3	Identifikation mit vorgegebener Robustheit	187
8.4	Berücksichtigung von a-priori-Kenntnissen	194
8.4.1	Schätzung von Teilparametersätzen	194
8.4.2	Modellierung der Zeitvarianz im Parameterzustandsmodell	197
8.5	Bewertung der Verfahren	200

9	ÜBERWACHUNGSSYSTEME	202
9.1	Anforderungen	202
9.2	Wahl und Bestimmung der Strukturparameter	206
9.2.1	Abtastzeit	206
9.2.2	Totzeit	211
9.2.3	Ordnung	217
9.2.4	Zusammenhänge	223
9.3	Führung der Adaption über das Eigenverhalten der Parameterschätzung	225
9.3.1	Prinzipielle Vorgehensweise	225
9.3.2	Trennung von Verstärkungs- und Gleichwertänderungen	226
9.4	Weitere Überwachungsmaßnahmen	233
9.4.1	Impulsdetektion	233
9.4.2	Stabilitätsanalyse über die Regelkreissignale	235
9.4.3	Begleitende Gütesimulation	239
9.4.4	Filterung der Parameterschätzwerte	243
9.5	Überwachungs-Zustandsdiagramm	244
10	PARAMETERADAPTIVE REGELUNG SPEZIELLER PROZESSE	252
10.1	Integrierende Prozesse	252
10.2	Instabile Prozesse	257
10.3	Nichtlineare Prozesse mit Hysterese	258
10.3.1	Modellbildung einfacher mechanischer Systeme	259
10.3.1.1	Systeme mit Reibung	259
10.3.1.2	Systeme mit Lose	261
10.3.1.3	Vereinheitlichte Darstellung	263
10.3.2	Explizite Identifikation der Hysteresebreite	263
10.3.3	Adaptive Kompensation der Hysterese	267

11	PILOTSTUDIE THERMISCHER PROZESS	272
11.1	Regelungstechnisches Modell des Pilotprozesses	272
11.1.1	Übertragungsverhalten des Wärmeaustauschers	274
11.1.2	Übertragungsverhalten des Rückkühlers	276
11.2	Parameteradaptive Regelung des Pilotprozesses	278
11.2.1	Regelung der Strecke Wärmeaustauscher (WAT)	278
11.2.2	Regelung der Strecke Rückkühler	293
12	ZUSAMMENFASSUNG	298
	LITERATURVERZEICHNIS	302
	ANHANG	314
A:	Herleitungen und Beweise	
A1:	Potter-Kovarianzfilter	315
A2:	UD-Faktorisierung	317
A3:	Robustheitsbereiche von Deadbeat-Reglern	319
A4:	Positivität von Q_μ	321
A5:	Eigenwertberechnung des LS-Parameterschätzers	322
A6:	Ljapunov-Stabilität des LS-Parameterschätzers	323
B:	Testprozesse	325
C:	Instrumentierung der Pilotanlage	330
D:	Programmsystem DIPAC	331
E:	Programmsystem MARIANNE	334
	SACHVERZEICHNIS	335