

BERICHTE AUS DEM
INSTITUT FÜR
REGELUNGSTECHNIK
RWTH AACHEN



Dipl.-Ing. Frank Wienand, Aachen

Robuste Regelung nicht- linearer Prozesse nach der μ -Analyse und -Synthese

Fortschritt-Berichte VDI

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

Nr. **629**

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Problemstellung	2
1.2	Stand der Forschung	3
1.3	Ziele der Arbeit	4
2	Robuste Regelung	6
2.1	Vorbemerkungen	6
2.2	Anforderungen und Ziele	11
2.3	Modellunsicherheiten	15
2.3.1	Unstrukturierte Modellunsicherheiten	16
2.3.2	Strukturierte Modellunsicherheiten	17
2.3.3	Lineare Fraktionale Transformation	19
2.4	Stabilität	20
2.4.1	Nyquist-Kriterium für Mehrgrößensysteme	20
2.4.2	Satz der kleinsten Verstärkung	25
2.4.3	Robuste Stabilität	26
2.5	Quantitative Eigenschaften	30
3	Entwurfsverfahren für robuste Regler	33
3.1	Vorbemerkungen	33
3.2	Das Mehrgrößen-Nyquist-Verfahren	34
3.3	H_∞ -Verfahren	43
3.3.1	Die H_∞ -Norm	43
3.3.2	Das H_∞ -Standardproblem	45
3.3.3	Das Mixed-Sensitivity-Problem	49
4	Entwurfsverfahren mit μ-Analyse und -Synthese	56

4.1	Formulierung des Standardproblems	56
4.1.1	Robuste Stabilität	57
4.1.2	Robustes Arbeitsverhalten	58
4.2	Ermittlung von Gewichtungsmatrizen	69
4.2.1	Strukturierte Unsicherheiten	70
4.2.2	Anforderungsverhalten	73
4.2.3	Eingangsrößengewichtung	77
4.3	Berechnung des strukturierten Singulärwerts	78
4.3.1	D-K -Iteration	78
4.3.2	Alternative Verfahren	82
4.4	Vorgehensweise beim Entwurf	83
5	Ordnungsreduktion	87
5.1	Vorbemerkungen	88
5.2	Standardverfahren	90
5.2.1	Abgeschnittener Teilzustand	95
5.2.2	Abgeschnittener Teilzustand mit stationärer Korrektur	95
5.2.3	Singuläre Perturbation	97
5.2.4	Singuläre Perturbation ohne Durchgangsmatrix	98
5.2.5	Optimale Hankel-Norm-Approximation	98
5.3	Frequenzgewichtete Ordnungsreduktion	100
6	Robuste Regelung stark nichtlinearer Prozesse	104
6.1	Eigenschaften stark nichtlinearer Prozesse	105
6.2	Reglerablösestrategien	106
6.2.1	Reglerablösung durch Umschalten	108
6.2.2	Reglerablösung durch Interpolation der Stellgrößen	108
6.2.3	Reglerablösung durch Interpolation der Übertragungsmatrizen	110

6.3	Nachweis robuster Stabilität	111
7	Anwendungsbeispiele	114
7.1	Elektrohydraulisches Load-Sensing	114
7.1.1	Prozeßbeschreibung	115
7.1.2	Reglerentwurf nach dem Mehrgrößen-Nyquist-Verfahren	119
7.1.3	H_∞ -optimale Regelung	123
7.1.4	Mehrebenenregelung	128
7.2	Kontinuierlicher Rührkesselreaktor	133
7.2.1	Prozeßbeschreibung	134
7.2.2	Reglerentwurf nach der μ -Analyse und -Synthese . . .	136
8	Zusammenfassung und Ausblick	145
A	Mathematischer Anhang	150
A.1	Matrizen und Determinanten	150
A.2	Rechenregeln für Systeme in Zustandsraumdarstellung	153
A.3	Algebraische Riccati-Gleichungen	156
B	Modelle der Anwendungsbeispiele	160
B.1	Elektrohydraulisches Load-Sensing	160
B.2	Kontinuierlicher Rührkesselreaktor	167
C	Reglerentwurf für das elektrohydraulische Load-Sensing	170
C.1	Mehrgrößen-Nyquist-Verfahren	170
C.2	H_∞ -optimale Verfahren	170
D	Symbolverzeichnis	172
	Literaturverzeichnis	177