

## **Robuste Mehrgrößenregelung**

im Sommersemester 2007

Vorlesender: Prof. Dr.-Ing. Ulrich Jumar, Übungsleiter: Dr.-Ing. Steffen Sommer

### **Schwerpunkte der mündlichen Prüfung**

1. Erläutern Sie die Hauptmerkmale von MGR und demonstrieren Sie diese an Beispielen. Geben Sie Beschreibungsformen an und verdeutlichen Sie die Unterschiede beim Entwurf von Mehrgrößenregelungen und einschleifigen Regelkreisen.
2. Stellen Sie die Beschreibungsformen von Mehrgrößensystemen im Zeit- und Frequenzbereich dar. Zeigen Sie die Zusammenhänge. Ordnen Sie den Beschreibungsformen Reglerentwurfverfahren zu und verdeutlichen Sie die Unterscheidung zwischen Grundidee der Entwurfsverfahren und deren numerischer Behandlung.
3. Zeigen und beschreiben Sie Wege für die Modellbildung von Mehrgrößensystemen. Welche Modellformen resultieren hieraus? Welche praktischen Aspekte sind bei der Modellbildung zu berücksichtigen? Was sind P- und V-kanonische Strukturen? Zeigen Sie deren Zusammenhang.
4. Erläutern Sie den Zusammenhang von Matrix der Übertragungsfunktionen, Matrix der Gewichtsfunktionen, Übergangsfunktionsmatrix, Matrix der statischen Übertragungsfaktoren. Geben Sie die Berechnungsvorschriften an.
5. Welche Bedeutung hat die Systembeschreibung mit der Rosenbrock-Matrix? Geben Sie einen Weg der Herleitung an. Geben den Zusammenhang der Rosenbrock-Matrix und den Nullstellen von Mehrgrößensystemen an.
6. Was versteht man unter einer Minimalrealisierung, welche Eigenschaften besitzt sie? Erläutern Sie die Beobachtbarkeit und Steuerbarkeit von Mehrgrößensystemen. Für welche Analyse- und Synthesaufgaben sind Minimalrealisierungen notwendig oder zweckmäßig?
7. Geben Sie die Definition für Pole und Nullstellen von Mehrgrößensystemen an. Interpretieren Sie Pole und Nullstellen von Mehrgrößensystemen und vergleichen Sie mit dem Eingrößenfall. Erläutern Sie Möglichkeiten der Berechnung. Stellen Sie den Zusammenhang mit der Rosenbrock-Matrix her.
8. Benennen Sie praktisch relevante Strukturen für Mehrgrößenregelungen. Stellen Sie den Zusammenhang zu möglichen Strukturen und Eigenschaften der Mehrgrößenregelstrecke dar. Welche Konsequenzen ergeben sich aus der Strukturfrage für das Entwurfsvorgehen?
9. Was ist die Rückführdifferenzmatrix? Leiten Sie diese für einen selbst gewählten Mehrgrößenregelkreis her. Welche Eigenschaften besitzt die Rückführdifferenzmatrix? Gehen Sie auf die Bedeutung für den Regelungsentwurf ein.
10. Geben Sie bei gegebenen Zustandsmodellen von Strecke und Regler den Signalflussplan für eine Zustandsbeschreibung für das geschlossene System an. Leiten Sie für eine konstante Zustands- und für eine konstante Ausgangsrückführung die Zustandsbeschreibung des geschlossenen Systems her. Diskutieren Sie Zustands- und Ausgangsrückführung von Mehrgrößenregelstrecken. Welche Rolle spielen konstante Vorfilter?
11. Was ist die interne Stabilität eines linearen Mehrgrößensystems? Wie lässt sie sich prüfen? Welche Bedeutung kommt der Determinante der Rückführdifferenzmatrix zu? Erläutern Sie den durch das Hsu-Chen-Theorem beschriebenen Zusammenhang.

12. Erläutern Sie Stabilitätskriterien für Mehrgrößenregelkreise. Gehen Sie neben den Aussagen des Hsu-Chen-Theorems dabei insbesondere auch auf das verallgemeinerte Nyquist-Kriterium ein. Unter welchen Voraussetzungen sind welche Vereinfachungen möglich?
13. Welche Rolle spielen Kopplungen in einem Mehrgrößensystem? Wie lassen sie sich qualitativ und quantitativ beschreiben? Welche Auswirkungen ergeben sich auf die Strukturwahl und den Entwurf des Reglers? Erläutern Sie am Beispiel einer Zweigrößenstrecke mit Diagonalregler die Begriffe „resultierende Strecke“ und „Koppel­faktor“.
14. Erläutern Sie die tragende Idee und die Anwendung der Relativ-Gain-Analysis. Welche Konsequenzen ergeben sich für die Strukturwahl einer Zweigrößenregelung?
15. Diskutieren Sie den Grundgedanken von entkoppelten Mehrgrößenregelungen. Beschreiben Sie den Entwurf eines Entkopplungsnetzwerkes und gehen Sie auf die Bedingungen der Realisierung ein. Skizzieren Sie Ansätze für den Fall nicht realisierbarer Entkopplungsnetzwerke.
16. Was versteht man unter unvollständiger Entkopplung und Diagonaldominanz? Stellen Sie den Zusammenhang zu den Gershgorin-Bändern her. Erläutern Sie die Anwendung des verallgemeinerten Nyquist-Kriteriums auf diagonaldominante Übertragungsfunktionsmatrizen.
17. Welches Entwurfsprinzip liegt dem Direkten Nyquist-Verfahren zugrunde? Erläutern Sie das Entwurfsvorgehen. Schätzen Sie das Verfahren ein. Skizzieren Sie die Grundidee der verallgemeinerten Diagonaldominanz.
18. Erläutern Sie Rechtfertigung und Praktikabilität der Übertragung von Eingrößenreglern mit PI-Struktur auf den Mehrgrößenfall. Interpretieren Sie die Existenzbedingung für den I-Anteil des Reglers. Beschreiben Sie das praktische Vorgehen zum Entwurf und zum Tuning von PI-Mehrgrößenreglern.
19. Beschreiben Sie das Grundprinzip der robusten Regelung. Was sind Modellunsicherheiten, wie lassen sie sich klassifizieren? Wie gestaltet sich der Entwurfsablauf von robusten Mehrgrößenregelungen bei unbekannter, aber beschränkter Modellunsicherheit?
20. Wie lassen sich unstrukturierte Modellunsicherheiten beschreiben? Welcher Zusammenhang besteht zwischen Nominalmodell, Fehlermodell und realer Strecke? Wie werden Modellfehler abgeschätzt und mathematisch beschrieben?
21. Was verstehen Sie unter einer  $(M, \Delta)$ -Struktur und einer  $(P, K)$ -Struktur? Welche Bedeutung besitzen diese für die Analyse der Robustheit von Regelungen? Geben Sie die Bedingungen für robuste Stabilität im Fall von additiven und multiplikativen Modellfehlern im Eingrößenfall an und erläutern Sie das Small-Gain-Theorem.
22. Übertragen Sie das Vorgehen der Beschreibung beschränkter Modellfehler im Eingrößenfall auf den Mehrgrößenfall. Welche Bedeutung kommt den Singulärwerten und der Spektralnorm zu? Wie werden die unbekanntenen Modellfehler und wie das Verhalten des geregelten Nominalmodells mathematisch beschrieben? Geben Sie die Bedingungen für robuste Stabilität im Fall von additiven und multiplikativen Modellfehlern im Mehrgrößenfall an und erläutern Sie das Small-Gain-Theorem.
23. Erläutern Sie das Konzept der verallgemeinert strukturierten Modellunsicherheit. Wie erfolgt zweckmäßiger Weiser die Prüfung auf robuste Stabilität? Beschreiben Sie Vor- und Nachteile diese Vorgehens.
24. Welche Idee liegt dem  $H_\infty$  Entwurf zugrunde? Erläutern Sie den Zusammenhang zur Empfindlichkeitsfunktion und zur komplementären Empfindlichkeit. Wie finden Anforderungen an das Führungsverhalten, das Störverhalten, die Unterdrückung von Messrauschen sowie die Robustheit Berücksichtigung? Beschreiben Sie das Entwurfsvorgehen.