

Grundlagen der Regelungstechnik

Kapitel 8: Praxisbeispiele und Übungen

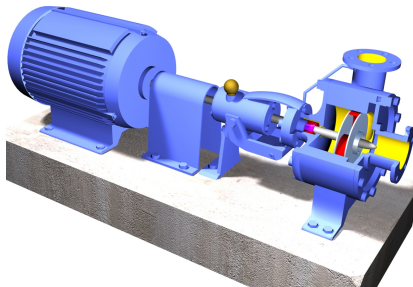
Tom P. Huck

DHBW Karlsruhe

WS 2025

Aufgabe 1

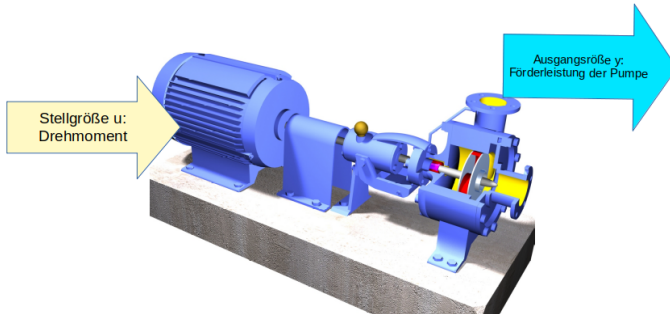
Nehmen Sie an, Sie arbeiten als Ingenieur/in in einem Unternehmen, welches industrielle Kühlsysteme herstellt. Die Kühlsysteme werden mit Pumpen betrieben, die von einem Elektromotor angetrieben werden.



Bildquelle: https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Centrifugal_pumps

Aufgabe 1

Sie haben die Aufgabe, eine Regelung zu entwickeln, welche die Förderleistung der Pumpe regelt. Als Regelstrecke wird das Pumpensystem betrachtet. Hierbei sei die Eingangsgröße u das Motordrehmoment, welches auf die Antriebswelle aufgebracht wird. Die Regelsgröße y sei die Förderleistung der Pumpe in Litern pro Minute.



Bildquelle: https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Centrifugal_pumps

1a) Modellierung als Differentialgleichung

Sie sollen zunächst ein mathematisches Modell der Regelstrecke in Form einer Differentialgleichung entwerfen.

Bei einer Recherche in einem Fachbuch finden Sie heraus, dass Systeme wie das von Ihnen betrachtete häufig als LTI-System zweiter Ordnung modelliert werden kann. Ableitungen der Eingangsgröße können dabei vernachlässigt werden.

Welche Differentialgleichung müssen Sie für Ihr Modell ansetzen?

1b) Parameteridentifikation

Um mit der Differentialgleichung rechnen zu können, müssen zuerst die Werte der Parameter bestimmt werden.

Hierzu führen Sie eine Messung der Sprungantwort am System durch. Die Messdaten von finden Sie in der Datei `step_response.mat`.

Bestimmen Sie anhand der Messdaten die Systemparameter!

1c) Übertragungsfunktion

Stellen Sie mit den von Ihnen bestimmten Parametern eine Übertragungsfunktion auf!

Zeichnen Sie die Sprungantwort Ihrer Übertragungsfunktion und vergleichen Sie diese mit der ursprünglich gemessenen Sprungantwort.

Ist Ihr Modell zufriedenstellend? Falls nein, überlegen Sie, wie Sie Ihr Modell auf einfache Weise verbessern können!

1d) Bestimmung Reglerparameter

Sie wollen nun einen PI-Regler nach Betragsoptimum entwerfen.
Bestimmen Sie geeignete Reglerparameter.

Geben Sie zunächst die allgemeine Übertragungsfunktion des PI-Reglers an, und dann die Übertragungsfunktion, die sich mit den von Ihnen bestimmten Reglerparametern ergibt!

1e) Bestimmung Reglerparameter

Ein alternativer Weg besteht darin, aus der gegebenen Sprungantwort *direkt*, d.h. ohne Umweg über das mathematische Streckenmodell, die Reglerparameter zu bestimmen. Wie lautet das entsprechende Verfahren, das Sie in der Vorlesung kennengelernt haben?

Bestimmen Sie mit diesem Verfahren geeignete Reglerparameter.

1f) Geschlossener Regelkreis

Berechnen Sie mit Matlab die Übertragungsfunktion des geschlossenen Regelkreises. Bestimmen Sie anhand der Systempole, ob der Regelkreis stabil ist!

Zeichnen Sie mithilfe von Matlab die Sprungantwort. Ist der geschlossene Regelkreis stationär genau?

Hinweis: Führen Sie diese Schritte sowohl mit den Parametern aus Aufgabe 1d), als auch mit denen aus Aufgabe 1e) durch. Vergleichen Sie die Ergebnisse.

1g) Diskrete Implementierung des Reglers

Diskretisieren Sie mithilfe des Matlab c2d Befehls die Übertragungsfunktion Ihres PID Reglers zu einer z-Übertragungsfunktion.

Leiten Sie daraus eine diskrete Rechengvorschrift für den PID Regler her, welche die aktuelle Stellgröße u_k in Abhängigkeit vergangener Stellgrößen ($u_{k-1}, u_{k-2} \dots$) und des Regelfehlers ($e_k, e_{k-1}, e_{k-2} \dots$) angibt!

1h) Zustandsraumdarstellung

Ihr Modell des Antriebssystems soll in ein größeres Simulationsmodell integriert werden, mit dem das Verhalten des gesamten Kühlsystems simuliert wird. Allerdings arbeitet das Simulationstool mit Zustandsraummodellen. Daher müssen Sie Ihr Modell in Zustandsraumdarstellung konvertieren!

Geben Sie die Matrixen A , B , C und D an!

Beurteilen Sie die folgenden Aussagen:

- ▶ Die Steuerung berücksichtigt Abweichungen der aktuellen Ausgangsgröße vom Sollwert.
- ▶ Ein Regelkreis benötigt zwingend einen Rückführzweig.
- ▶ Das Ziel der Regelung ist es, die Regelgröße trotz Störeinflüssen möglichst genau auf dem Sollwert zu halten.
- ▶ Die Wirkungskette in einem typischen Regelkreis-Blockdiagramm ist wie folgt:
Sollgröße → Soll-Istwert-Vergleich → Sensor → Stellglied → Regelstrecke → Rückführung

Aufgabe 2: Richtig oder Falsch? (Systemmodelle)

Beurteilen Sie die folgenden Aussagen:

- ▶ Die Übertragungsfunktion beschreibt den Zusammenhang zwischen Ein- und Ausgang im Frequenzbereich.
- ▶ Ein Pol im rechten Halbebenebereich führt immer zu stabilem Verhalten.
- ▶ Die Sprungantwort eines PT1-Gliedes erreicht ihren Endwert sofort.
- ▶ LTI-Systeme können durch lineare, zeitinvariante Differentialgleichungen beschrieben werden.
- ▶ In linearen, zeitinvarianten Differentialgleichung ist die Multiplikation zweier Signale (Ein, Ausgangsgrößen oder deren Ableitungen) miteinander zulässig.

Aufgabe 2: Richtig oder Falsch? (Stabilität)

Beurteilen Sie die folgenden Aussagen:

- ▶ Ein System ist stabil, wenn alle Pole in der linken komplexen Halbebene liegen.
- ▶ Das Hurwitz-Kriterium liefert eine Möglichkeit, die Stabilität ohne explizite Polberechnung zu prüfen.
- ▶ Wenn eine Hurwitz-Determinante gleich Null ist, ist das System immer stabil.
- ▶ Für das Nyquist-Kriterium wird das offene Systemverhalten (Strecke + Regler) betrachtet.
- ▶ Die Phasenreserve beschreibt den Phasenversatz bei der Frequenz, bei der der Amplitudengang 0 dB erreicht.
- ▶ Eine große Phasenreserve bedeutet, dass das System robuster gegenüber Modellunsicherheiten ist.
- ▶ Der Einheitskreis spielt für zeitkontinuierliche Stabilitätsanalysen eine zentrale Rolle.

Beurteilen Sie die folgenden Aussagen:

- ▶ Das Betragsoptimum und das Ziegler-Nichols Verfahren sind heuristische Einstellregeln für Reglerparameter.
- ▶ Ein PI-Regler kann nach Betragsoptimum ausgelegt werden, ein PID-Regler jedoch nicht.
- ▶ Beim symmetrischen Optimum spielt die größte Zeitkonstante der Strecke eine zentrale Rolle.
- ▶ Der I-Anteil in einem PID-Regler kann dazu beitragen, Messrauschen auf Signalen zu verstärken.

Aufgabe 2: Richtig oder Falsch? (Zeitdiskrete Systeme)

Beurteilen Sie die folgenden Aussagen:

- ▶ Zeitdiskrete Systeme werden typischerweise durch Differentialgleichungen beschrieben.
- ▶ Die z-Transformation ersetzt eine zeitliche Verzögerung um einen Abtastschritt durch eine Multiplikation mit z^{-1} .
- ▶ Ein zeitdiskretes System ist stabil, wenn alle Pole in der linken Halbebene der komplexen Zahlenebene liegen.
- ▶ Nach Shannon-Theorem darf die Abtastfrequenz maximal so groß sein, wie das Doppelte der höchsten im abzutastenden Signal vorkommenden Frequenz.
- ▶ Durch Diskretisierung eines kontinuierlichen Reglers entsteht immer eine exakt äquivalente zeitdiskrete Darstellung.
- ▶ Der Tustin-Ansatz (bilinear) ist eine Möglichkeit, die Laplace-Variable s durch eine Funktion von z zu approximieren.

Aufgabe 2: Richtig oder Falsch? (Fortgeschrittene Regelverfahren)

Beurteilen Sie die folgenden Aussagen:

- ▶ Bei einer Kaskadenregelung arbeitet die innere Schleife schneller als die äußere.
- ▶ Eine Vorsteuerung soll die Störgrößenkompensation übernehmen, während der Regler die Sollwertfolge sicherstellt.
- ▶ Adaptive Regler passen ihre Parameter zur Laufzeit an die aktuellen Streckeneigenschaften an.
- ▶ Modellprädiktive Regelung nutzt ein Streckenmodell, um zukünftige Systemzustände vorherzusagen.
- ▶ Beim Zustandsregler werden die Ausgangsgrößen eines Systems auf die Stellgröße zurückgeführt.
- ▶ Zustandsbeobachter werden eingesetzt, um unbekannte Parameter einer Regelstrecke zu schätzen.