

Versuch 2

Mehrgrößenregelung eines Heißluftgebläses ¹

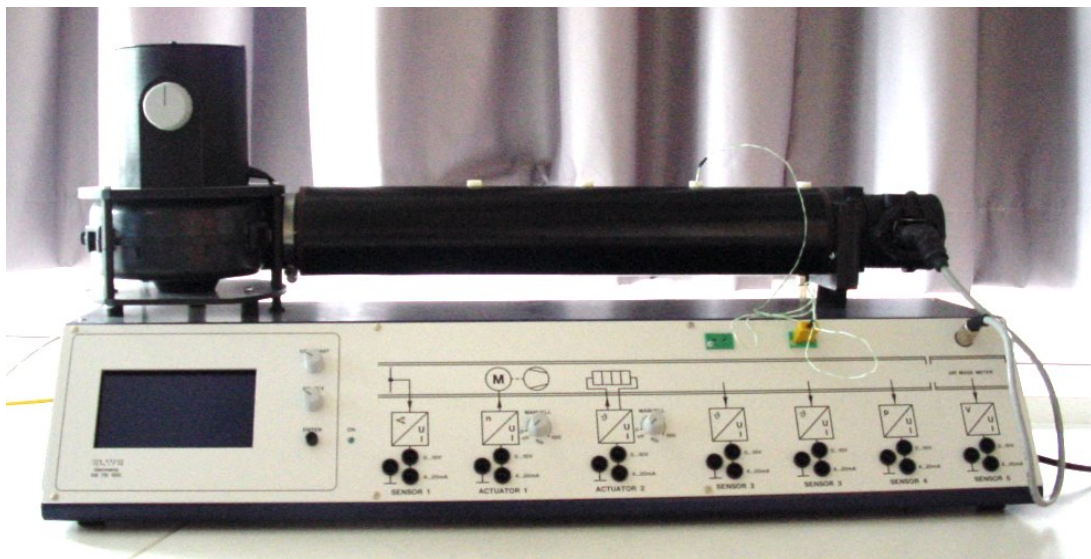


Abbildung 1: Versuchsaufbau

1 Einleitung

Für ein Heißluftgebläse mit zwei Ein- als auch zwei Ausgängen sollen in diesem Versuch Regler basierend auf dem DNA-Entwurfsverfahren (Direct Nyquist Array) entwickelt werden. Ausschlaggebend für die erfolgreiche Anwendung des Entwurfsverfahrens ist, dass die Kopplungen außerhalb der Diagonalelemente der Übertragungsmatrix “schwach” ausfallen.

In einem ersten Schritt soll diese Eigenschaft untersucht werden und das Streckenmodell gegebenenfalls angepasst werden. Dann soll ein geeigneter Regler gemäß dem DNA-Verfahren entworfen werden.

In einem weiteren Schritt soll der Versuch unternommen werden das System vollständig zu entkoppeln. Mit diesem Verfahren kann dann das Reglerentwurfsproblem auf zwei reine SISO-Entwurfsprobleme zurückgeführt werden.

¹Die Ausarbeitung der Aufgabenstellung geht auf die Arbeit von Stephanie Geist zurück

2 Grundlagen

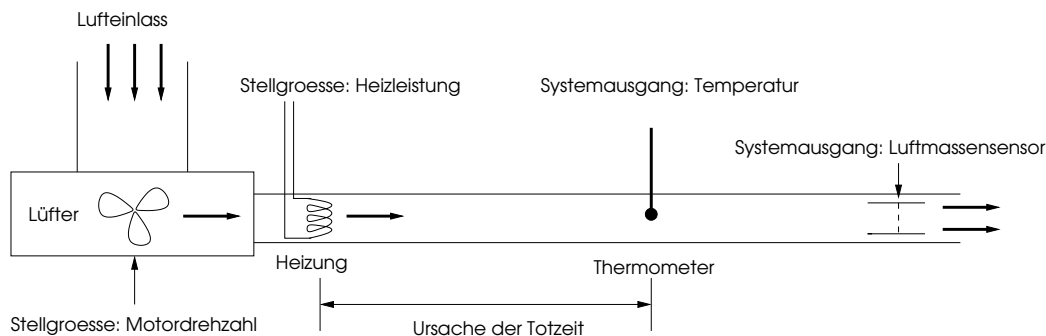


Abbildung 2: Versuchsaufbau

Für das Heißluftgebläse in Abb. 2 soll eine Regelung für die Temperatur (an einer bestimmten Stelle im Rohr) und den Luftstrom entworfen werden. Das Gerät besitzt hierbei zwei Eingänge, die Heizleistung und die Motordrehzahl des Lüfters. Als Messgrößen stehen die Temperatur, sowie der Luftstrom zur Verfügung. Da die Sensoren jedoch weiter im hinteren Teil des Rohres angebracht sind, muss noch die jeweilige Totzeit berücksichtigt werden. Weiterhin hat nicht nur die Heizleistung den alleinigen Einfluss auf die Temperatur sondern auch der Luftstrom und somit indirekt die Motordrehzahl. Ähnliches gilt für den Einfluss der Heizleistung auf den Luftstrom, allerdings ist dieser Effekt sehr viel geringer. Diese beiden Kopplungen führen somit zu einer voll besetzten 2×2 Übertragungsmatrix, die durch Identifikationsexperimente bestimmt werden konnte und hier gegeben ist. Die einzelnen Übertragungsfunktionen werden als PT1-Glieder mit Totzeitanteil angenommen, was für den interessierenden Frequenzbereich eine brauchbare Näherung darstellt.

$$G^*(s) = \begin{bmatrix} \frac{-0.482}{0.4793+s} e^{-sT_{y1}} & \frac{0.4532}{0.7779+s} e^{-sT_{y1}} \\ \frac{2.9465}{1.5005+s} e^{-sT_{y2}} & \frac{0.0976}{4+s} e^{-sT_{y2}} \end{bmatrix}$$

Hierbei sind $T_{y1} = 0.6s$ und $T_{y2} = 0.3s$ die Totzeiten, die im System auftreten und ebenfalls experimentell bestimmt wurden. Die zugehörigen Eingangs- und Ausgangsvektoren sind:

$$u = \begin{bmatrix} \text{Motordrehzahl} \\ \text{Heizleistung} \end{bmatrix}, \quad y = \begin{bmatrix} \text{Temperatur} \\ \text{Luftstrom} \end{bmatrix}$$

Die beiden Stellgrößen sind normiert und auf den Bereich $u \in [0..99]$ beschränkt.

3 Vorbereitung

3.1 Padé-Approximation

Approximieren Sie die Totzeitterme $e^{-sT_{y1}}$ und $e^{-sT_{y2}}$ mithilfe einer Padé-Approximation 1. Ordnung durch eine gebrochen-rationale Funktion und stellen Sie das approximierte Streckenmodell \hat{G}^* auf.

$$\text{Hinweis: } e^{-sT} \rightarrow \frac{-s + \frac{2}{T}}{s + \frac{2}{T}}$$

3.2 Kopplungsanalyse mit Hilfe verallgemeinerter Gershgorin-Bänder

- Machen Sie sich mit der Theorie der verallgemeinerten Gershgorin-Bänder vertraut und implementieren Sie in Scilab eine Funktion, die diese für ein gegebenes Diagonalelement zusammen mit der Nyquistortskurve des jeweiligen Elements der Matrix \hat{G}^* zeichnet.
- Untersuchen Sie die Kopplungen des gegebenen Systems \hat{G}^* anhand der verallgemeinerten Gershgorin-Bänder. Ist das gegebene Modell für das DNA-Entwurfsverfahren geeignet?
- Falls das gegebene Streckenmodell in der gegebenen Form nicht für das DNA-Entwurfsverfahren geeignet sein sollte, finden Sie geeignete Permutationsmatrizen, welche von links oder rechts an \hat{G}^* heranmultipliziert werden müssen (Vertauschung von Ein- oder Ausgängen), um die schmalsten Gershgorin-Bänder zu erhalten und plotten Sie diese. Die gleiche Multiplikation mit einer Permutationsmatrix kann auch auf das Streckenmodell G^* angewendet werden. Im Folgenden bezeichnen wir mit G die umgestellte, verallgemeinert diagonaldominante Version der Strecke und mit \hat{G} die umgestellte, verallgemeinert diagonaldominante Version der approximierten Strecke.
- Welche Aussage kann über die Stabilität eines geschlossenen Standardregelkreises mit dem Regler $K = I$ getroffen werden?

3.3 Reglerentwurf

- Entwerfen Sie nun eine Diagonalreglermatrix $K(s) = \begin{bmatrix} K_1(s) & 0 \\ 0 & K_2(s) \end{bmatrix}$ mit den Einzelreglern K_1 und K_2 , welche für Eingrößenregelkreise mit den Übertragungsfunktionen \hat{G}_{11} bzw. \hat{G}_{22} (mit Totzeit!) als Regelstrecke entworfen werden sollen. Verwenden Sie jeweils zwei PID-Regler. Da es sich nur um Approximationen der Strecken handelt und aufgrund der Totzeit kleine Abweichungen des Modells von der realen Strecke starke Auswirkungen auf die Stabilität des geschlossenen Kreises haben, verwenden Sie bitte folgende Amplitudenreserven:

- $K_1: A_r = 5.55$

- $K_2: A_r = 5.65$

b) Zeichnen Sie für die offene Kette $Q(s) = \hat{G}(s)K(s)$ die Gershgorinbänder. Ist die Stabilität des geschlossenen Kreises gewährleistet?

3.4 Simulation

Implementieren Sie ein Modell der Strecke, sowie Ihren Regler in Scicos. Simulieren Sie folgende Sprünge der Führungsgrößen in einer Simulation:

- $t=15s$: Sprung des Sollwertes für die Temperatur um 20K
- $t=30s$: Sprung des Sollwertes für den Luftstrom um $10 \frac{Kg}{h}$

3.5 Vollständige Entkopplung

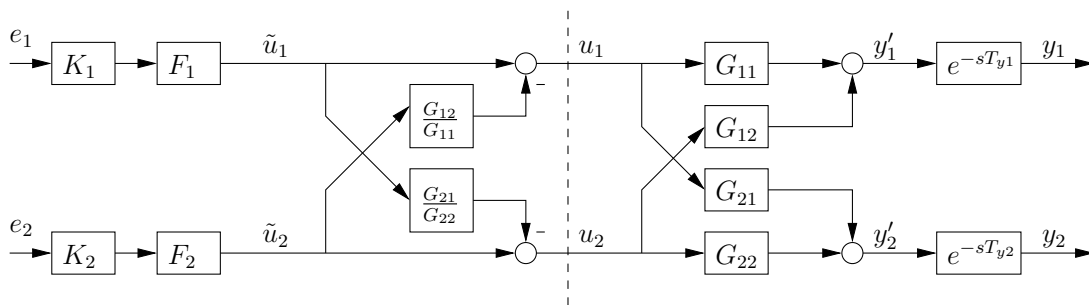


Abbildung 3: Entkopplung der Strecke

- Gegeben sei das Schaltbild in Abbildung 3. Berechnen Sie allgemein die Ausgänge y'_1 und y'_2 in Abhängigkeit von \tilde{u}_1 und \tilde{u}_2 . Geben Sie die Übertragungsmatrix G' von $[\tilde{u}_1, \tilde{u}_2] \rightarrow [y'_1, y'_2]$ an. Was fällt auf?
- Dimensionieren Sie $F_1(s)$ und $F_2(s)$ so, dass $P_1(s)G'_{11}(s)F_1(s) = G_{11}(s)$ und analog $P_2(s)G'_{22}(s)F_2(s) = G_{22}(s)$

Hinweis: Es empfiehlt sich zur Vereinfachung der Berechnungen, die Totzeiterme in G herauszunehmen und als zusätzliche Blöcke $P_1(s)$ und $P_2(s)$ hinter y'_1 und y'_2 zu schalten, da die Totzeiten in den zwei Spalten jeder Zeile die gleiche Totzeit aufweisen (siehe Blockschaltbild).

- Sie können nun Ihren Regler K aus Aufgabe 3.3 auf die entkoppelte Strecke anwenden.

3.6 Simulation des Entkopplungsreglers

Implementieren Sie den Regler mit Entkopplung in Scicos und simulieren Sie erneut die Führungssprünge aus Aufgabe 3.4.

4 Durchführung

Für alle Versuche sind die Verläufe für Referenz-, Stell- und Regelgrößen aufzuzeichnen.

- a) Implementieren Sie ihren Diagonalregler am Versuchsstand zunächst ohne Entkopplung und geben Sie die Referenzen aus 3.4 vor.
- b) Erweitern Sie nun den Regler um die Entkopplung und wiederholen Sie das Experiment.
- c) Vergleichen Sie die aufgenommenen Daten untereinander und mit denen der Simulation. Erklären Sie die Abweichungen der real durchgeführten Entkopplung.

4.1 Scilab-Befehle

<code>spec</code>	Berechnung der Eigenwerte einer Matrix
<code>poly</code>	Definition eines Polynoms
<code>syslin</code>	Definition eines linearen Systems
<code>repfreq</code>	Berechnung der Frequenzantwort eines linearen Systems (SIMO)
<code>horner</code>	Berechnet den Wert eines Polynoms oder einer rationalen Funktion
<code>real</code>	Gibt den Realteil einer komplexen Matrix aus
<code>imag</code>	Gibt den Imaginärteil einer komplexen Matrix aus
<code>xarc</code>	Zeichnet Teil einer Ellipse
<code>g_margin</code>	Berechnet die Amplitudenreserve
