151-0590-00 **Regelungstechnik II** (FS 2008) **Übung 1**

Thema: **Analyse von MIMO-Systemen**

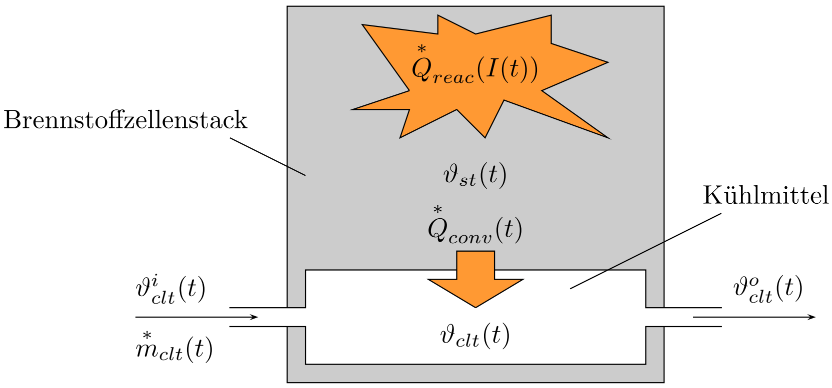
Ausgabe: 06. 03. 08 Vorbesprechung: 07. 03. 08 Abgabe: 14. 03. 08 Nachbesprechung: 04. 04. 08

Name: .... Vorname: .... Visum: ....

marianne.schmid@imrt.mavt.ethz.ch, 5. März 2008

Aufgabe 1 (Thermisches Modell eines Brennstoffzellenstacks)

Eine Brennstoffzelle ist eine elektrochemische Zelle, die die Reaktionsenergie eines kontinuierlich zugeführten Brennstoffes (z.B. Wasserstoff) und eines Oxidationsmittels (z.B. Sauerstoff bzw. Luft) in nutzbare elektrische Energie umwandelt. Bei dieser Reaktion entsteht neben Wasser als Reaktionsprodukt immer auch Wärme. Um ein Überhitzen der Brennstoffzelle zu vermeiden, muss die Reaktionswärme laufend abgeführt werden.



In dieser Aufgabe soll für einen wassergekühlten Brennstoffzellenstack[1] ein thermisches Modell erstellt und analysiert werden. Dazu werden die folgenden vereinfachenden Annahmen gemacht:

- Reduktion auf zwei thermische Speicher (Brennstoffzellenstack, Kühlmittel)
- Homogene Temperaturverteilung in den Speichern
- Kein Wärmeverlust über die Oberfläche des Stacks an die Umgebung
- Temperaturunabhängige Systemparameter

Weiter ist folgende Gleichung für die Reaktionswärme gegeben,

$$\overset{*}{Q}_{reac}(I(t)) = \Delta U\, I(t) + R\, I^2(t)\,,$$

und angenommen, dass zwischen Stack und Kühlmittel ein konvektiver Wärmetransfer stattfindet,

$$\overset{*}{Q}_{conv}(t) = k\, A\, (\vartheta_{st}(t) - \vartheta_{clt}(t))\,.$$

Die Kühlmittelaustrittstemperatur soll gleich der Kühlmitteltemperatur gesetzt werden «perfect mixing»,

$$\vartheta^o_{clt}(t) = \vartheta_{clt}(t)\,.$$

[1] Serieschaltung mehrerer einzelner Brennstoffzellen

a) Stellen Sie die Energiebilanzen (1. Hauptsatz) für die beiden thermischen Speicher auf und schreiben Sie das resultierende Differentialgleichungssystem 2. Ordnung an, mit:

$$\begin{aligned} x_1(t) &:= \vartheta_{st}(t) \qquad & u_1(t) &:= \vartheta^i_{clt}(t) \qquad & d(t) &:= I(t)\,. \\ x_2(t) &:= \vartheta_{clt}(t) \qquad & u_2(t) &:= \overset{*}{m}_{clt}(t) \end{aligned}$$

b) Berechnen Sie die Gleichgewichtswerte $x_{2,0}$ und $u_{1,0}$ analytisch in Abhängigkeit der Betriebspunktwerte d_0, $x_{1,0}$, $u_{2,0}$.

c) Linearisieren Sie das System um den Gleichgewichtspunkt $\{x_{1,0}, x_{2,0}, u_{1,0}, u_{2,0}, d_0\}$ und geben Sie die resultierenden Matrizen A, B und B_d an.

Das konkrete System weise die folgenden Parameter- und Betriebspunktwerte auf:

$$\begin{aligned} k &= 400\,\mathrm{W/(m^2\,K)} \qquad & m_{clt} &= 0.5\,\mathrm{kg} \qquad & \vartheta_{st,0} &= 60°\mathrm{C} \\ A &= 0.75\,\mathrm{m}^2 & c_{clt} &= 4200\,\mathrm{J/(kg\,K)} & \overset{*}{m}_{clt,0} &= \tfrac{1}{35}\,\mathrm{kg/s} \\ m_{st} &= 10\,\mathrm{kg} & R &= \tfrac{1}{15}\,\Omega & d_0 &= 60\,\mathrm{A}. \\ c_{st} &= 1500\,\mathrm{J/(kg\,K)} & \Delta U &= 16\,\mathrm{V} \end{aligned}$$

d) Werten Sie die Systemmatrizen A, B und B_d numerisch aus.

e) Beurteilen Sie die Lyapunov-Stabilität des Systems.

f) Ist das System vollständig steuerbar?

g) Ist das System für $y_1(t) := \vartheta_{st}(t)$ und $y_2(t) := \vartheta_{st}(t) - \vartheta_{clt}(t)$ vollständig beobachtbar?

h) Berechnen Sie die Übertragungsmatrix $P(s)$ des linearisierten Systems vom Eingang $u(t)$ auf den Ausgang $y(t)$.

i) Welches Übertragungsverhalten wird durch den Eintrag $P_{1,1}(s)$ der Übertragungsmatrix beschrieben? Geben Sie eine physikalische Interpretation der Ordnung und des statischen Übertragungsfaktors von $P_{1,1}(s)$.

j) Betrachten Sie die Übertragungsfunktion von $u_2(t)$ nach $y_1(t)$. Begründen Sie physikalisch, warum diese Übertragungsfunktion eine negative Verstärkung aufweist.

k) Überprüfen Sie die Resultate aus **e)** bis **h)** mit MATLAB®. Verwenden Sie dazu die Befehle `eig`, `ctrb`, `obsv`, `rank`, `ss`, `tf` und `minreal` aus der Control System Toolbox.

Aufgabe 2 (Hurwitz Kriterium)

Erweitern Sie den P-Regler im Regelsystem «Satellite Tracking Feedback Control System» (siehe Skript[2] Seite 103, Abbildung 7.6) mit einem D-Teil. Modifizieren Sie den Verstärkungsbereich des P-Teils, für den das Regelsystem stabil bleibt, in Funktion der Systemparameter und der Verstärkung des D-Teils. Diskutieren Sie das Ergebnis.

[2] *Analysis and Synthesis of Single-Input-Single-Output Control Systems*, L. Guzzella, 2007, vdf Hochschulverlag