

Industriell reglerteknik: Föreläsning 6

Martin Enqvist

Reglerteknik
Institutionen för systemteknik
Linköpings universitet

Föreläsningar

| | |
|----|---|
| 1 | Sekvensstyrning: Funktionsdiagram, Grafcet. |
| 2 | Grundläggande reglerteori i diskret tid. |
| 3 | Modellering. Design av regulatorer. |
| 4 | Framkoppling från referenssignal. PID-regulatorn. |
| 5 | PID-regulatorn. Implementering av regulatorer. |
| 6● | Regulatorer i drift. Olinjära regulatorer. |
| 7 | Regulatorstrukturer. |
| 8 | Regulatorstrukturer. MPC: Grundprincip, problemformulering. |
| 9 | MPC: Problemformulering, referensföljning, I-verkan. |
| 10 | MPC: Stabilitet. |
| 11 | Gästföreläsning |
| 12 | MPC: Tolkningar. Sammanfattning. |

Regulatorer i drift

Prestandamått

Ett typiskt system i processindustrin kan innehålla flera tusen enskilda reglerloopar.

⇒ Behov av ett automatiskt verktyg för att mäta och övervaka reglerlooparnas prestanda.

- Prestandaövervakningen måste ske under drift och får inte orsaka störningar i produktionen.
- Prestandamåttet måste baseras på signaler som är mätta under drift utan speciell extern excitation (t.ex. kan steg i referenssignalerna vara ovanliga).

Varför dålig trimning?

Det finns olika skäl till varför regulatorer kan vara dåligt inställda:

- De har aldrig ställts in ordentligt.
- Systemets egenskaper har förändrats (nytt driftfall, förändrade störningar, etc.)
- Slitage i ställdon kan orsaka sämre reglering.

Harris index

Ett naturligt mått på en regulators prestanda:

$$V_N = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N e(kT_S)^2$$

($e(kT_S) = r(kT_S) - y(kT_S)$ är reglerfelet)

Problem: Vad ska man jämföra med? (När är V_N tillräckligt liten?)

Ett hjälpmedel: Harris index

Harris index. . .

Princip:

- Mät $y(kT_S)$ vid konstant referenssignal.
- Beräkna $\hat{\sigma}_{min}^2$, antingen genom att skatta $N(q)$ i en (tidsserie-)modell

$$y(kT_S) = N(q)v(kT_S)$$

och sedan dela upp den i $M(q)$ och $L(q)$ eller genom att skatta en $(d + 1)$ -stegsprediktor för $y(kT_S)$ och beräkna residualernas varians.

- Beräkna variansskattningen $\hat{\sigma}_y^2$ för $y(kT_S)$ och en (skattning av) Harris index som

$$\hat{I}_H = \frac{\hat{\sigma}_y^2}{\hat{\sigma}_{min}^2}.$$

Observationer

- Man behöver bara mäta utsignalen y .
- Tidsfördröjningen är den enda systemegenskap som man behöver känna till.
- Normaliserar utsignalvariansen med vad som är möjligt att uppnå. (Bättre än att bara titta på variansen hos y .)

Men:

- Kan ge ett för pessimistiskt mått eftersom man kanske inte kan eller vill ha en optimal regulator (med $I_H = 1$). (Alt: Använd modifierat Harris index istället.)
- Tidsfördröjningen kan behöva skattas (och är ibland variabel).

Exempel: Harris index

Systemet

$$G(s) = \frac{s + 1}{s^2 + s + 2} e^{-3s}$$

regleras med en samplande PI-regulator med $K = 0.3$, $T_i = 2$ och samplingstiden 0.5 s. Det finns en systemstörning $w(t)$:

$$y(t) = G_d(q)u(t) + w(t)$$

där $G_d(q)$ är en exakt tidsdiskret systembeskrivning under antagandet att styrsignalen är styckvis konstant. Störningen kan karakteriseras av sambandet

$$w(t) = \frac{z^2}{z^2 - 0.9725z + 0.81} v(t)$$

där $v(t)$ är vitt brus med väntevärde noll och varians 1. Man har mätt upp utsignalen när $r = 0$ och dess varians är 4.11. Vad blir Harris index?

Exempel: Harris index. . .

Sampling av systembeskrivningen ger ett tidsdiskret system med tidsfördröjning $d + 1 = 7$ sampel.

Beräkna σ_{\min}^2 :

```
H=tf([1 0 0],[1 -0.9725 0.81],1);
imp=impulse(H);
smin2=sum(imp(1:7).^2)
```

Resultat: $\sigma_{\min}^2 = 3.16$ (Observera att $T_S = 1$ i koden. Med $T_S \neq 1$ måste man lägga till en faktor T_S^2 på sista raden.)

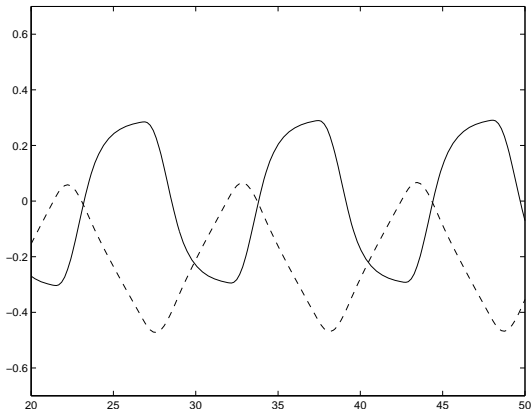
Harris index blir:

$$I_H = \frac{4.11}{3.16} = 1.30$$

Friktion

Friktion i mekaniska ställdon kan orsaka självsvängningar i reglersystem.

streckad linje: u
heldragen linje: y



Självsvängningar i reglersystem

Automatisk detektion av självsvängningar kan ske med:

- Spektralanalys
- IAE-baserat index. IAE=Integrated Absolute Error:

$$IAE_i = \int_{t_i}^{t_{i+1}} |e(t)| dt$$

(t_i och t_{i+1} är tider för nollgenomgångar)

- Stattins index

Stattins index

Idé: Jämför positiva och negativa areor för sig.

$$\alpha < \frac{A_{i+1}}{A_i} < \frac{1}{\alpha}, \quad \gamma < \frac{\delta_{i+1}}{\delta_i} < \frac{1}{\gamma}$$

($\alpha < 1, \gamma < 1$)

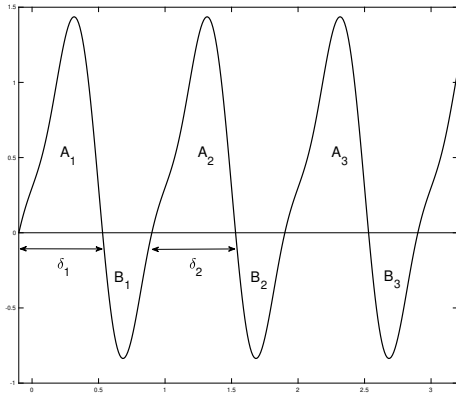
N_A = antal gånger som testet är uppfyllt

(motsvarande definitioner för de negativa areorna)

Index:

$$h_{sv} = \frac{N_A + N_B}{N} \quad (N = \text{totala antalet intervall})$$

$h_{sv} > 0.8$ indikerar en självsvängning



Olinjära regulatorer

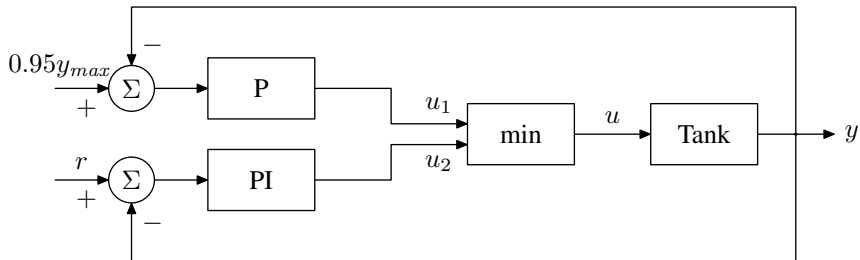
Olinjäriteter

- I många tillämpningar kan man reglera olinjära system med linjära regulatorer eftersom man med regleringen ser till att befinna sig i ett begränsat arbetsområde i vilket de olinjära effekterna är små.
- Ibland är dock arbetsområdet så stort att systemets olinjäriteter inte kan försummas.
- Det finns också fall där man vill byta mellan olika regulatorer för att få olika beteenden i olika delar av arbetsområdet.

⇒ Behov av olinjära regulatorer...

Regulatorer med väljare

Exempel: Nivåreglering



Verbalt definierade reglerstrategier

- Processoperatörer har ofta mycket kunskap om hur ett system ska regleras.
- Denna kunskap är ofta verbalt formulerad. \Rightarrow Inte uppenbart hur den kan översättas till en algoritm för automatisk reglering.

Exempel: Temperaturreglering

Om temperaturen är låg ska effekten vara hög.

Vad blir f i $u(t) = f(y(t))$?

En översättningsmetod: Diffusa mängder och fuzzy control

Fuzzy control

1. Bestäm in- och utsignaler.
2. Definiera diffusa mängder för varje signal. (Till skillnad från vanliga mängder kan ett tal vara del av en diffus mängd *lite grann*.)
Ex: Definiera vad som är en låg temperatur (y) och vad som är en hög effekt (u).
3. Definiera matematiska regler som svarar mot implikationer (styrstrategier). Resultat: Nya y -beroende diffusa mängder.
*Ex: Ge effekten (u) egenskapen **hög** viktat med till vilken grad temperaturen (y) har egenskapen **låg**.*
4. Under drift: Mät y , väg samman de olika reglerna och beräkna ett numeriskt värde på styrsignalen.

Sammanfattning

Regulatorer i drift:

- Harris index: En jämförelse med en optimal regulator som bara kräver kunskap om systemets tidsfördröjning
- Harris index kan användas även då man inte har någon varierande referenssignal (mycket vanligt)
- Flera index för detektion av självsvängningar (spektralanalys, IAE-baserat index, Stattins index)

Olinjära reglerstrategier:

- Reglering med väljare
- Parameterstyrning
- Verbalt definierade reglerstrategier (fuzzy control)

www.liu.se