Industriell reglerteknik: Föreläsning 3

Martin Enqvist

Reglerteknik
Institutionen för systemteknik
Linköpings universitet

LINKÖPING UNIVERSITY

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.

Modellering av industriella systemer

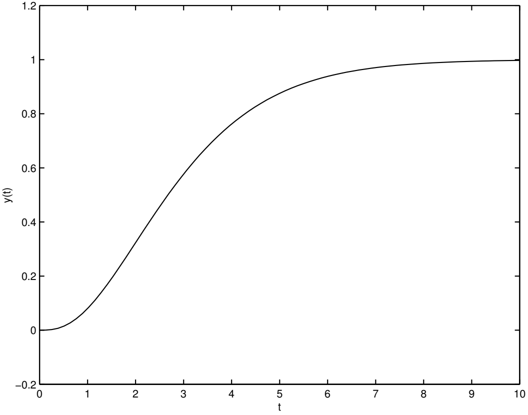
Typiska stegsvar

Ett typiskt (icke oscillativt) stegsvar kännetecknas av att:

- Det tar en viss tid innan stegsvaret börjar röra på sig (**dödtid**, eller derivata lika med noll initialt).
- Utsignalen stabiliseras på en viss nivå om systemet saknar integration (**statisk förstärkning**).
- Det tar en viss tid (förutom dödtiden) innan utsignalen når stationäritet (**tidskonstant**).

Typiska stegsvar...

Typiskt stegsvar från ett system:



Treparametermodell

En modell med tre parametrar:

$$\boxed{G(s) = \frac{K_p}{1 + sT} e^{-sL}}$$

K_p = statisk förstärkning
T = tidskonstant
L = tidsfördröjning

Stegsvar:

$$y(t) = \begin{cases} 0, & t \leq L \\ K_p(1 - e^{-(t-L)/T}), & t > L \end{cases}$$

Ziegler-Nichols modell

En modell med två parametrar:

$$\boxed{G(s) = \frac{b}{s} e^{-sL}}$$

b = lutning hos stegsvaret
L = tidsfördröjning

Stegsvar:

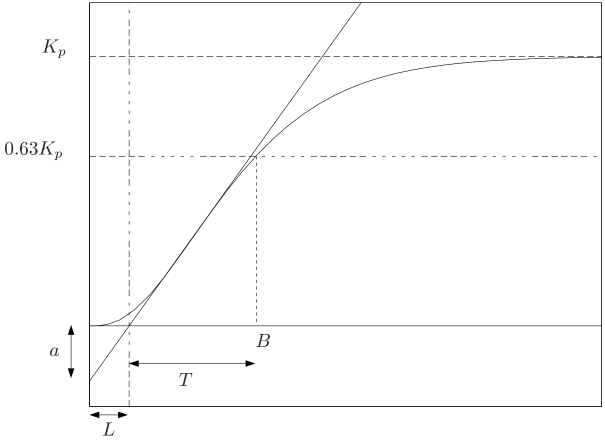
$$y(t) = \begin{cases} 0, & t \leq L \\ b(t-L), & t > L \end{cases}$$

Experiment

Experiment för att bestämma modellparametrarna:

- **Stegsvarsförsök (transientförsök):**
  Låt $u(t) = \begin{cases} 0, & t \leq 0 \\ 1, & t > 0 \end{cases}$ och mät $y(t)$.
- **Självsvängningsförsök**
- **Självsvängningsförsök med relä**

Stegsvarsförsök



Stegsvarsförsök...

Treparametermodellen:

- K_p är statiska förstärkningen (avläses direkt)
- L är tidsfördröjningen (avläses direkt)
- $t = T + L$ är den tidpunkt då $y(t) = (1 - e^{-1})K_p \approx 0.63K_p$ (ger T)

Ziegler-Nichols modell:

- L är tidsfördröjningen (avläses direkt)
- b är den brantaste lutningen hos stegsvaret ($b = a/L$)

(Andra sätt finns förstås också!)

Självsvängningsförsök

- Koppla in en P-regulator och öka K tills systemet självsvänger.
- Detta kan göras för alla stabila system vars nyquistkurva skär negativa reella axeln.
- Vid självsvängning gäller $K_u G(i\omega_u) = -1$, där K_u kallas **kritisk förstärkning** och $\omega_u = 2\pi/T_u$ **kritisk vinkelfrekvens**. T_u är den **kritiska periodtiden** (d.v.s. periodtiden för självsvängningen).
- Försöket ger oss alltså kunskap om *en* punkt på nyquistkurvan: $G(i\omega_u) = -1/K_u$

Självsvängningsförsök. . .

Problem: Det är ofta inte möjligt att ta ett system till stabilitetsgränsen p.g.a.:

- fysikaliska begränsningar
- begränsad styrsignal
- säkerhetsrisker

Lösning: Reläsjälvsvängning

Design av regulatorer

Mål med reglering

Mål:

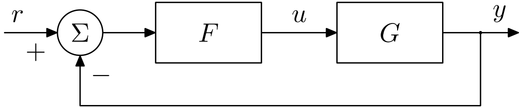
- stabilisering
- referensföljning ($G_c \approx 1$)
- störningsundertryckning
  - känslighetsfunktionen S ska vara liten (systemstörningar)
  - komplementära känslighetsfunktionen T ska vara liten (mätstörningar)
- T ska vara liten av robusthetsskäl (modellfel)

Dessutom: $S + T = 1$, styrsignalen är begränsad

Motstridiga krav!

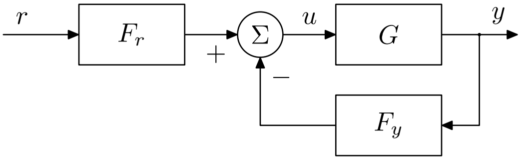
Frihetsgrader

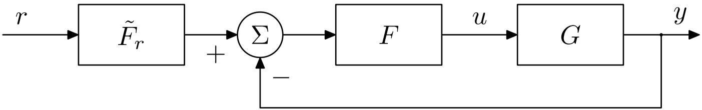
Regulator med en frihetsgrad:



Frihetsgrader...

Regulatorer med två frihetsgrader:





Designprinciper

Ett sätt att karakterisera några av de vanligaste metoderna för reglerdesign är att dela in dem i följande kategorier:

- **Polplacering** (antingen m.h.a. överföringsfunktioner eller med tillståndsmodeller)
- **Kretsformning** (t.ex. lead-lag-reglering, $\mathcal{H}_\infty$-reglering och liknande metoder, quantitative feedback tuning (QFT))
- **Förkortningsbaserade metoder** (t.ex. direkt beräkning av regulator utifrån önskat G_c, regulatorer med intern modell (IMC), framkoppling)
- **Optimeringsbaserade metoder** (t.ex. linjärkvadratisk reglering (LQ), modellbaserad prediktionsreglering (MPC), optimal styrning)

IMC: Val av Q

Tips på hur Q kan väljas i några olika fall:

- G har fler poler än nollställen: Välj

$$Q(s) = \frac{1}{(sT_c + 1)^n G(s)}$$

  där n är valt så att Q blir realiserbar. ($T_c \leftrightarrow$ slutna systemets bandbredd)
- G är ett icke-minfassystem (G innehåller faktorn $(-\beta s + 1)$:
  (a) Bortse från $(-\beta s + 1)$ då $Q \approx 1/G$ bildas.
  (b) Ersätt $(-\beta s + 1)$ med $(\beta s + 1)$ då $Q \approx 1/G$ bildas.

IMC: Val av Q...

- G innehåller en tidsfördröjning (G innehåller faktorn e^{-sL}):
  (a) Bortse från e^{-sL} då $Q \approx 1/G$ bildas.
  (b) Approximera e^{-sL} med

$$e^{-sL} \approx \frac{1 - sL/2}{1 + sL/2}$$

  och gör som i fall 2 (icke-minfas) då $Q \approx 1/G$ bildas. Använd eventuellt samma approximation i regulatorns interna modell.

Sammanfattning

- Tre modeller: 1: Treparametermodell, 2: Ziegler-Nichols modell, 3: Skärningen med negativa reella axeln
- Stegsvarsförsök, självsvängningsförsök med/utan relä
- Regulatorer med interna modeller (IMC)
- Dödtidskompensering (smithprediktorn)

www.liu.se