

Industriell reglerteknik: Föreläsning 4

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.

Framkoppling från referenssignal

Servoproblemet

Servoproblemet: Se till att utsignalen $y(t)$ följer en (varierande) referenssignal $r(t)$ så "bra" som möjligt.

Beskriv önskemålen med en referensmodell:

$$y_r(t) = G_m(p)r(t)$$

Ibland: $G_m(s) = 1$

Oftare: Mjukare referensföljning, t.ex.:

$$G_m(s) = \frac{1}{1 + sT}, \quad (T = \text{önskad tidskonstant för } G_{ry})$$

Servoproblemet. . .

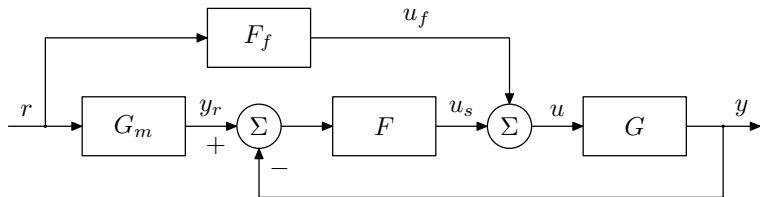
Ibland löser man servoproblemet enbart med återkoppling.

Detta försvåras dock av delvis motstridiga krav på

- störningsundertryckning
- robusthet

Lösning: Extra frihetsgrad i regulatorn
⇒ Framkoppling från referenssignalen

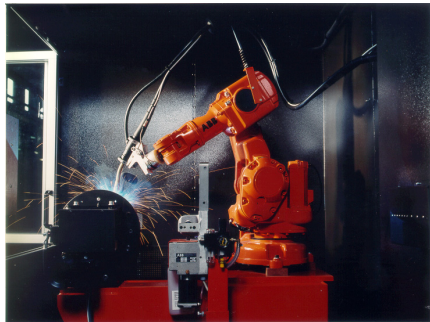
Framkoppling från referenssignalen



Framkoppling från referenssignalen...

Framkoppling från referenssignalen:

- Intressant för de flesta servoproblem.
Exempel: Reglering av industrirobotar.
- Möjliggör snabb referensföljning med goda stabilitetsmarginaler.
- Möjliggör långsam referensföljning med snabb störningsundertryckning.



En IRB140-robot som svetsar.

Foto: ABB

Exempel: Ideal framkoppling

System som beskriver hur en patients blodtrycksminskning beror på mängden narkosmedel under en operation:

$$G(s) = \frac{1}{s(s^2 + 4s + 4)}$$

(insignal: ventilläge som styr tillförseln av narkosmedel, utsignal: minskning i medelartärtrycket)

PID-regulator (designexempel i Dorf och Bishop (2011), sid. 281):

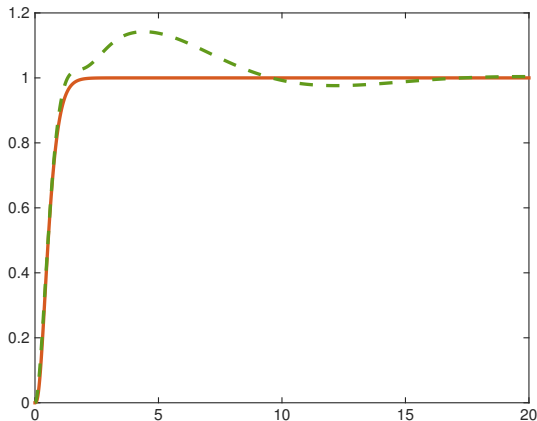
$$F(s) = 5 + \frac{2}{s} + 7s$$

Referensmodell och ideal framkoppling:

$$G_m(s) = \frac{1}{(0.2s + 1)^3}, \quad F_f(s) = \frac{G_m(s)}{G(s)} = \frac{(s^3 + 4s^2 + 4s)}{(0.2s + 1)^3}$$

Exempel: Ideal framkoppling. . .

Stegsvar för G_{ry} :



(tidsaxel i minuter)

Grönt, streckat: PID-reglering

Rött, heldraget: PID-reglering + ideal framkoppling

Exempel: Icke-minfssystem

Betrakta icke-minfssystemet

$$G(s) = \frac{-s + 8}{(s + 2)(s + 3)}$$

och referensmodellen

$$G_m(s) = \frac{7}{s + 7}$$

PI-regulator:

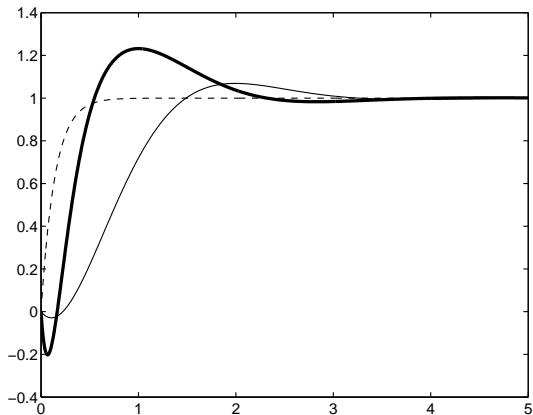
$$F(s) = 0.564 \left(1 + \frac{1}{0.553s} \right)$$

Framkoppling:

$$F_f(s) = G_m(s)G^\dagger(s) = \frac{7(s + 2)(s + 3)}{(s + 7)(s + 8)}$$

Exempel: Icke-minfssystem...

Stegsvar för G_{ry} :



Streckad linje: Önskat stegsvar

Tjock linje: PI-reglering + framkoppling

Tunn linje: PI-reglering

Exempel: Icke-minfssystem...

Alternativ: Inkludera icke-minfasnollstället i G_m :

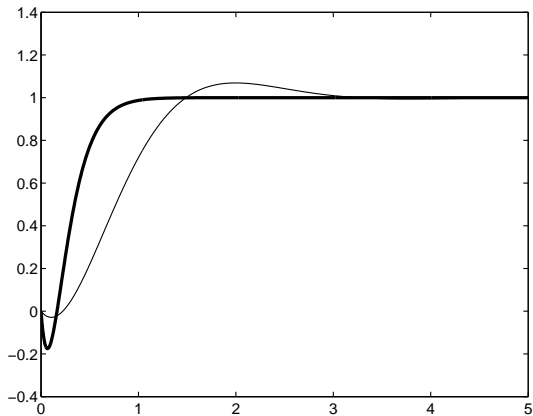
$$G_m(s) = \frac{49(-s + 8)}{8(s + 7)(s + 7)}$$

Detta ger framkopplingslänken

$$F_f(s) = \frac{G_m(s)}{G(s)} = \frac{49(s + 2)(s + 3)}{8(s + 7)(s + 7)}$$

Exempel: Icke-minfssystem...

Stegsvar för G_{ry} :



Tjock linje: PI-reglering + framkoppling (modifierat G_m)

Tunn linje: PI-reglering

Exempel: Neutral framkoppling

Betrakta systemet

$$G(s) = \frac{1}{(s+1)^4}.$$

Approximativ modell:

$$\hat{G}(s) = \frac{1}{1+2.50s} e^{-1.94s}$$

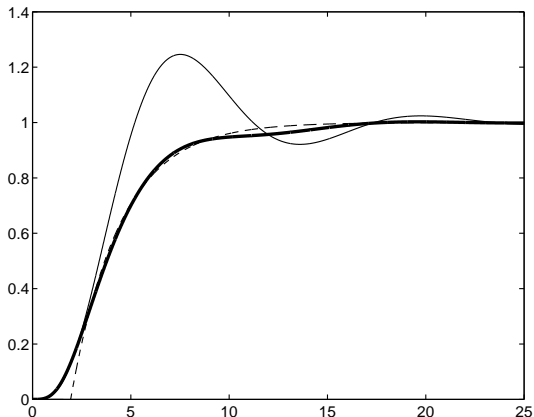
PI-regulator:

$$F(s) = 0.775 \left(1 + \frac{1}{2.05s} \right)$$

Neutral framkoppling: $G_m(s) = \hat{G}(s)$, $F_f(s) = 1$

Exempel: Neutral framkoppling. . .

Stegsvar för G_{ry} :



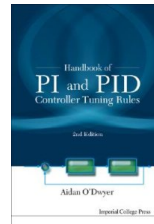
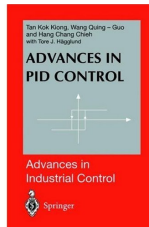
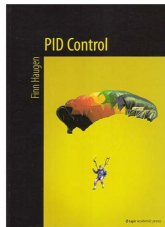
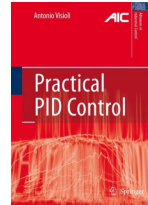
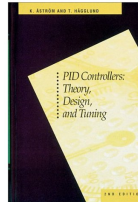
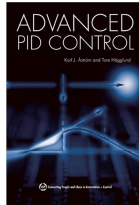
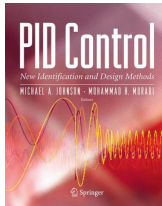
Streckad linje: Önskat stegsvar

Tjock linje: PI-reglering + neutral framkoppling

Tunn linje: PI-reglering

PID-regulatorn

Många böcker har skrivits



PID-regulatorn

PID = Proportionell Integrerande Deriverande

$$u(t) = K \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_{t_0}^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt} \right)$$

dvs

$$F(s) = K \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$$

K : förstärkning

T_i : integraltid

T_d : derivatid

Modifiseringar

Signaler kan i praktiken inte deriveras exakt
⇒ Modifisering av D-delen nödvändig:

Ersätt termen $T_d s$ med

$$\frac{T_d s}{\mu T_d s + 1}$$

Modifioringar. . .

Parallellform:

$$F(s) = K \left(1 + \frac{1}{T_i s} + \frac{T_d s}{\mu T_d s + 1} \right)$$

Serieform (jfr. lead-lag-kompensering):

$$F(s) = K \left(\frac{\tau_i s + 1}{\tau_i s} \right) \left(\frac{\tau_d s + 1}{\nu \tau_d s + 1} \right)$$

Samma nämnare – olika täljare

Modifiseringar...

Modifisering av referenssignalen:

$$u(t) = K \left(\alpha r(t) - y(t) + \frac{1}{T_i} \int_{t_0}^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{d(\beta r(t) - y(t))}{dt} \right)$$

Detta ger

$$F_y(s) = K \frac{T_i T_d s^2 + T_i s + 1}{T_i s}$$

och

$$F_r(s) = K \frac{\beta T_i T_d s^2 + \alpha T_i s + 1}{T_i s}$$

Exempel: Modifiering av referenssignalen

Betrakta systemet:

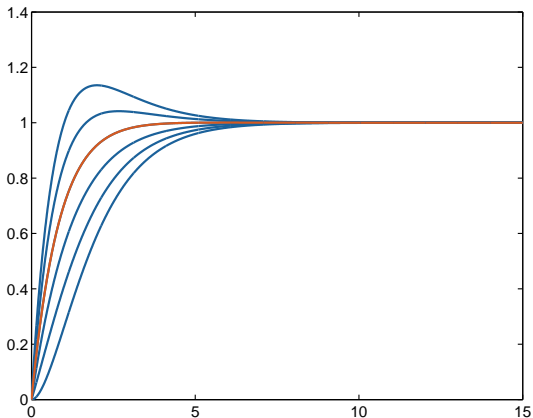
$$G(s) = \frac{2}{s}$$

och en PI-regulator med $K = 1$ och $T_i = 2$:

$$F_y(s) = \frac{2s + 1}{2s} \quad F_r(s) = \frac{\alpha 2s + 1}{2s}$$

Exempel: Modifiering av referenssignalen...

Stegsvar för slutna systemet med $\alpha = 0, 0.2, 0.4, 0.6$ (i rött), 0.8 och 1 :



Modificeringar. . .

Andra modificeringar:

- Undvikande av integratoruppvridding
- Undvikande av stötar vid olika typer av övergångar

Mer om detta på föreläsning 5. . .

PID-inställning

Hur ställer man in en PID-regulator?

- (i) Ad hoc
- (ii) Mha optimering
- (iii) Modellbaserat

Här: (iii)! Typiska delmoment:

1. Utför ett experiment (oftast: mät stegsvar eller självsvängning)
2. Anpassa en modell till data
3. Använd modellen för inställning av PID-parametrarna

Sammanfattning

- Framkoppling från referenssignal (samt återkoppling): Ett smidigt sätt att lösa referensföljningsproblemet om man har en skaplig modell.
- Välj $G_m(s)$ så att $F_f(s)$ blir stabil, kausal och proper vid ideal framkoppling
- Neutral framkoppling
- PID-modifieringar: parametrisering, modifierad D-del, parallellform \leftrightarrow serieform, skalning av referenssignalen i P- och D-delen

www.liu.se