

F13: Regulatorstrukturer och implementering

25 Februari, 2019

Lunds Universitet, Inst för Reglerteknik

Förra föreläsningen

1. Bodediagram för PID-regulator
2. Metoder för empirisk PID-inställning
 - Ziegler-Nichols stegsvansmetod
 - Ziegler-Nichols frekvensmetod
 - Lambdametoden
3. Börvärdeshantering
4. Praktiska modifieringar av PID-regulatorn

1

Föreläsning 13 — Regulatorstrukturer och implementering

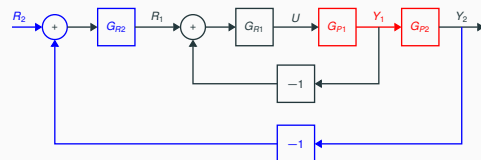
- Regulatorstrukturer
 1. Kaskadkoppling
 2. Framkoppling
 - Framkoppling av börvärde
 - **Framkoppling med störningskompensering**
 3. Dödtidskompensering
- Sampling
- Diskretisering av PID-regulatorn

2

Kaskadreglering

Kaskadreglering: (en insignal, flera utsignaler)

- **Inre** och **yttre** reglering av process G_{P1}, G_{P2} med utsignaler y_1 och y_2 .
- Kombination av två regulatorer, där utsignalen från den ena regulatorn bildar börvärde till den andra.

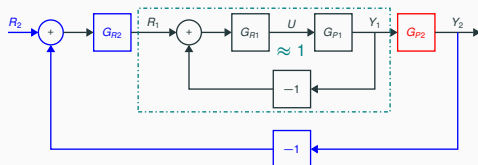


3

Kaskadreglering

Kaskadreglering – olika tidsskalor

- G_{R1} reglerar delsystemet G_{P1} (snabb inre reglering)
 $G_{R1} \rightarrow Y_1 \approx 1$
- G_{R2} reglerar delsystem $\approx 1 \cdot G_{P2}$ (långsam yttre reglering)
 OM inre reglering snabbare än yttre loop



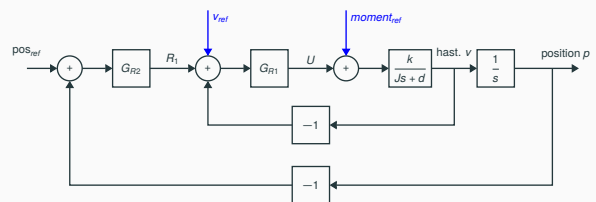
4

Kaskadreglering och framkoppling av referensvärden

Kaskadreglering:

Mycket vanligt i motor-/servo-styrning,

MEN ska alltid **framkoppla med ytterligare referensvärden** för att förbättra prestanda!!



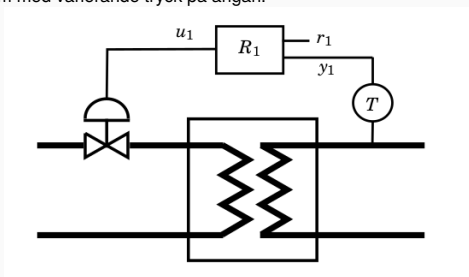
5

Kaskadreglering – exempel

Exempel: Reglering av värmeväxlare

Ånga på primärsidan värmer upp vatten på sekundärsidan.

Problem med varierande tryck på ångan.

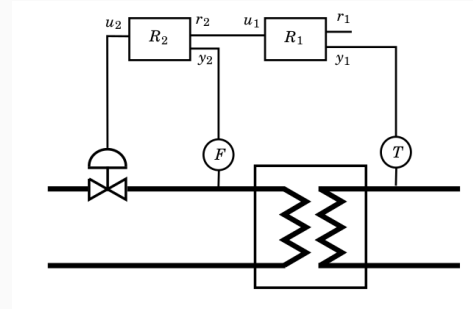


Vanligtvis är dock både ventilen olinjär och ångtrycket varierande.

6

Kaskadreglering – exempel

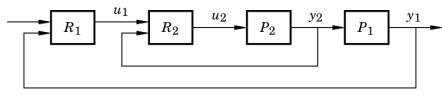
Inflöde av ånga (olika tryck) flödesreglering – yttre temperaturreglering



Kaskadregleringen innebär att huvudregulatorn R_1 får en enklare arbetsuppgift.

7

Kaskadreglering



Den främsta anledningen till att använda kaskadreglering är att man på det sättet kan **ta hand om störningar** som kommer in på processavsnittet P_2 snabbare, **innan** de hinner ge upphov till störningar i den primära mätsignalen y_1 .

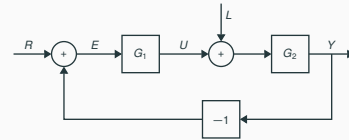
Ett exempel på detta är tryckvariationerna i exemplet ovan.

En förutsättning för att detta skall lyckas är naturligtvis att den **inre reglerkretsen är väsentligt snabbare** än den yttre reglerkretsen.

8

Reglering från mätbara störningar – Framkoppling

Återkoppling kan användas för att undertrycka t ex laststörningar. Dock nackdelen att regulatorn **inte reagerar på en störning förrän ett reglerfel redan har uppkommit**.

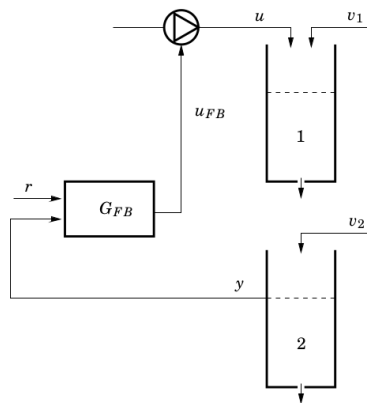


I många fall är det möjligt att mäta en störning L innan den hunnit ge upphov till ett reglerfel. Genom att **kompensera för störningen redan innan ett reglerfel uppstått** kan man ofta få en dramatiskt förbättrad reglering. Denna teknik kallas (också) **framkoppling**.



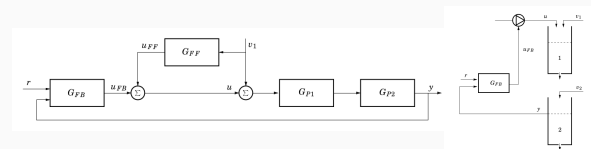
9

Reglering av nivå – framkoppling av störflöden



10

Störflöde i övre tanken



$$U = U_{FB} + U_{FF}$$

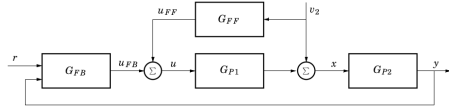
Om vi väljer $G_{FF} = -1$ så att

$$U_{FF} = G_{FF}V_1 = -V_1$$

kommer störflödet aldrig att ge upphov till någon ändring i nivån y .

11

Reglering av nivå – framkoppling av störflöden



Överföringsfunktion mellan v_2 och x fås ur

$$X = V_2 + G_{P1}(U_{FB} + U_{FF}) = G_{P1}U_{FB} + (1 + G_{P1}G_{FF})V_2$$

Detta ger den optimala framkopplingsdynamiken

$$G_{FF} = -\frac{1}{G_{P1}}$$

vilket alltså resulterar i framkopplingstermen

$$U_{FF} = G_{FF}V_2 = -\frac{1}{G_{P1}}V_2$$

12

Vid beräkning av optimala framkopplingsöverföringsfunktioner G_{FF} får man alltid uttryck som innebär att man måste invertera den delen av processdynamiken som finns mellan styrsignalen u och den plats där störningen påverkar processen. I fallet med störningen v_1 var detta inget problem, eftersom det inte fanns någon sådan dynamik. Störnsignalen kom ju där in på samma plats som styrsignalen. I det senare fallet får vi däremot följande framkopplingsterm i styrsignalen:

$$U_{FF} = -\frac{1}{G_{P1}}V_2 = -(s+a)V_2$$

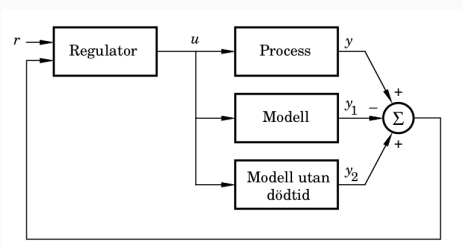
Detta betyder att vi ska derivera störflödet v_2 , vilket man oftast försöker undvika, eftersom det ger upphov till störningskänslighet och stora variationer i styrsignalen. Antingen kan man komplettera framkopplingen med ett lågpasfilter eller, vilket är vanligast, helt enkelt stryka de deriverande termerna och nöja sig med den statiska framkopplingen

$$U_{FF} = -aV_2$$

13

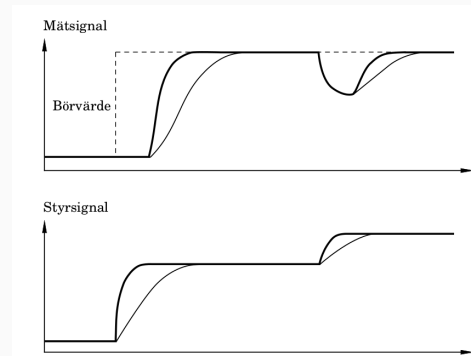
Dödtidsreglering – Otto-Smith-regulator

D-del fungerar dåligt när processen har en lång dödtid. Otto-Smith-regulator gör en modell av process och tidsfördröjningen.

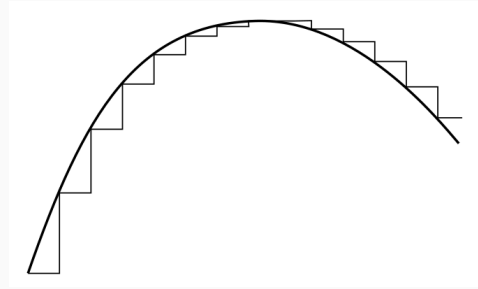
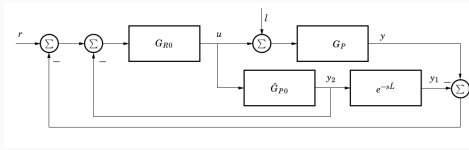


14

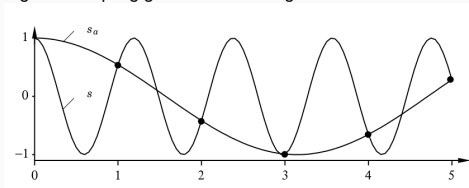
Dödtidsreglering – Otto-Smith-regulator



15



Alltför långsam sampling ger falsk bild av signal



Nyquistfrekvens: $f_s \geq f_N$

- Sampla minst dubbelt så snabbt som högsta signalfrekvens för att undvika vikning
- I praktiken, använd snabbare sampling

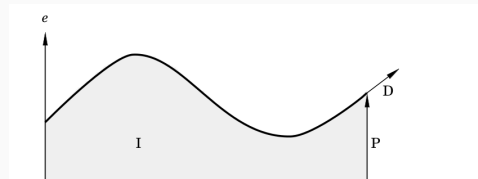
Använd anti-vikningsfilter!

1. Praktiska problem med PID-regulatorn
2. Integratorupprivning
3. Digital reglering
4. Samplingeffekter

Algoritmen

$$u = k \left(e + \frac{1}{T_i} \int^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de}{dt} \right) \quad e = r - y$$

- Aktuellt fel $e(t)$
- Det predikterade felet $e_p = e + T_d \frac{de}{dt}$
- Gamla ackumulerade fel $I = \int^t e(\tau) d\tau$

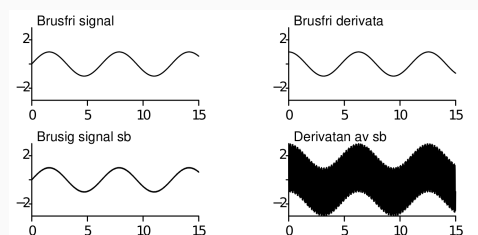


- Derivering av signaler kräver aktsamhet
- Det kan vara oklokt att derivera börvärdet
- Det kan vara klokt att proportionaldelen endast verkar på en del av börvärdet
- Åtgärder måste vidtagas om styrsignalen begränsas

Betrakta

$$y(t) = \sin t + a_n \sin \omega t \quad \frac{dy(t)}{dt} = \cos t + a_n \omega \cos \omega t$$

Exempel $\omega = 100, a_n = 0.01$

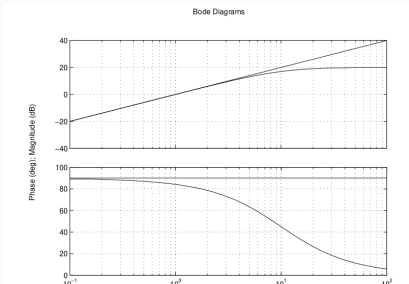


Approximativ derivering

Byt sT mot

$$G_d(s) = \frac{sT}{1 + sT/N}$$

- För små s gäller $G_d(s) \approx sT$.
- För stora s gäller $G_d(s) \approx N$.

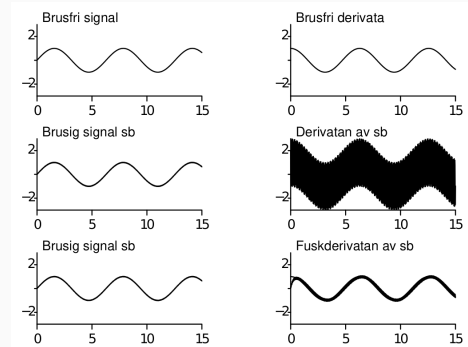


24

Simulering av approximativ derivering

$$y(t) = \sin t + a_n \sin \omega t$$

$$G_d(s) = \frac{s}{1 + s/5}$$



25

En förbättrad PID algoritm

$$U(s) = P(s) + I(s) + D(s)$$

$$P(s) = k(\beta R(s) - Y(s))$$

$$I(s) = k \frac{1}{sT_i}(R(s) - Y(s))$$

$$D(s) = -k \frac{sT_d}{1 + sT_d/N} Y(s)$$

Observera

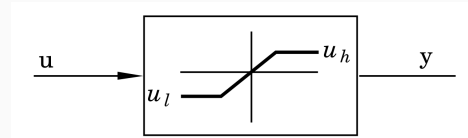
- Börvärdesviktning β
- Approximativ derivata
- Derivatan verkar inte på börvärdet $r(t)$

Dessutom bör kompenseras för integratoruppvriddning.

26

Problemet med mätning

Mätning förekommer ofta. En ventil kan ej ge negativt flöde, den kan ej heller vara mer än fullt öppen. En mätning kan representeras med blockschemat

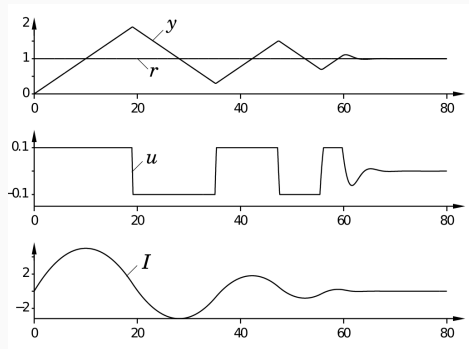


Om det finns en begränsare i en reglerkrets och om signalen blir så stor att begränsningen träder i funktion brytes återkopplingen. Detta kan ge förödande konsekvenser om regulatören eller processen är instabil. JAS!

27

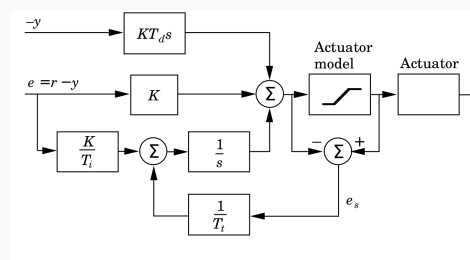
Integratoruppvriddning

Observera att en integrator är stabil men ej asymptotiskt stabil. På engelska "integrator windup".



28

Hur undviker man integratoruppvriddning?



29

Stötfria omkopplingar

Det är viktigt att se till att det ej blir plötsliga ändringar i styrsignalen när regulatorns parametrar ändras under drift.

För I-regulatorn

$$i = \frac{k}{T_i} x$$

$$x = \int e(s) ds$$

blir det ett steg i styrsignalen när k eller T_i ändras.

Om regulatorn i stället implementeras så här

$$i = \int \frac{k}{T_i} e(s) ds$$

blir det inget steg i styrsignalen då parametrarna ändras!

30

Implementering i dator

I dag konstrueras praktiskt taget alla regulatorer med en dator. Följande operationer utförs av datorn.

1. Vänta på klockavbrott
2. Omvandla börvärdet r och processens utsignal y till tal
3. Beräkna styrsignalen u
4. Omvandla styrsignalen till analogt värde
5. Uppdatera variabler i regleralgoritmen
6. Gå till 1

31

$$p(t_k) = k(\beta r(t_k) - y(t_k))$$

$$e(t_k) = r(t_k) - y(t_k)$$

$$d(t_k) = \frac{T_d}{T_d + Nh} \left(d(t_{k-1}) - kN(y(t_k) - y(t_{k-1})) \right)$$

$$v = p(t_k) + i(t_k) + d(t_k)$$

$$u(t_k) = \text{sat}(v)$$

$$i(t_{k+1}) = i(t_k) + \frac{kh}{T_i} e(t_k) + \frac{kh}{T_r} (u - v)$$