

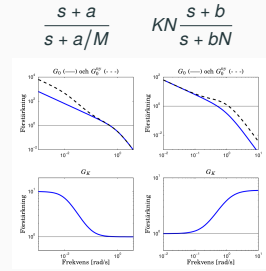
F12: PID-reglering

20 Februari, 2019

Lunds Universitet, Inst för Reglerteknik

Förra veckan

1. Faseretardering
  - Minskning av stationära fel
2. Fasavancering
  - Öka snabbheten
  - Förbättra stabiliteten
3. (Prestandabegränsningar)



Föreläsning 12 — PID-reglering

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

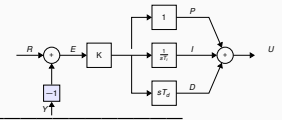
Bodediagram PID-regulator

Standardform PID-regulator ("parallellform")

$$u(t) = K \left( e + \frac{1}{T_i} \int_0^t e d\tau + T_d \frac{de}{dt} \right)$$

ger överföringsfunktion

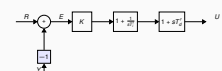
$$G_{PID}(s) = K \left( 1 + \frac{1}{sT_i} + sT_d \right)$$



Bodediagrammet skissas lättast baserat på en faktorisering av överföringsfunktionen.

Faktoriseringen kallas PID-regulatorns "serieform".

$$G_{PID}(s) = K' \left( 1 + \frac{1}{sT_i'} \right) (1 + sT_d') =$$



Bodediagram PID-regulator

Bodediagrammet skissas lättast baserat på PID-regulatorns "serieform".

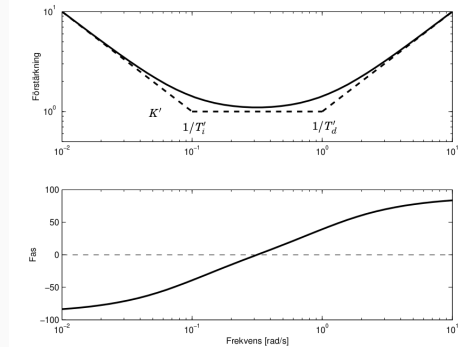
$$G_{PID}(s) = K' \left( 1 + \frac{1}{sT_i'} \right) (1 + sT_d') = K' \frac{(1 + sT_i')(1 + sT_d')}{sT_i'}$$

Brytpunkter

$$\omega = \frac{1}{T_i'} \quad \omega = \frac{1}{T_d'}$$

Lågfrekvensasymptot:  $\frac{K'}{sT_i'}$   
 Högfrekvensasymptot:  $K'sT_d'$

Inverkan av PID-regulatorns parametrar



Praktiskt problem med alltför hög HF-förstärkning (bruskänslig)

Bodediagram PID-regulator

Vanligt att lågpassfiltrera derivatadel

$$G_R(s) = K' \left( 1 + \frac{1}{sT_i'} \right) \left( 1 + \frac{sT_d'}{1 + sT_d'/N'} \right)$$

Brytpunkter (föruftsatt att  $T_i' \gg T_d', N' \gg 1$ .)

$$\frac{1}{T_i'} \quad \frac{N'}{T_d'(N' + 1)} \quad \frac{N'}{T_d'}$$

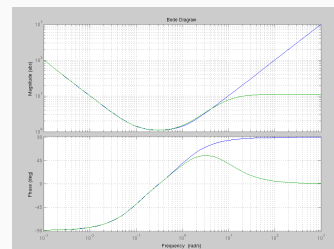
Lågfrekvensasymptot:  $\frac{K'}{sT_i'}$   
 Högfrekvensasymptot:  $K'(N' + 1)$

Bodediagram, modifierad PID-regulator

Med och utan derivatafiliter

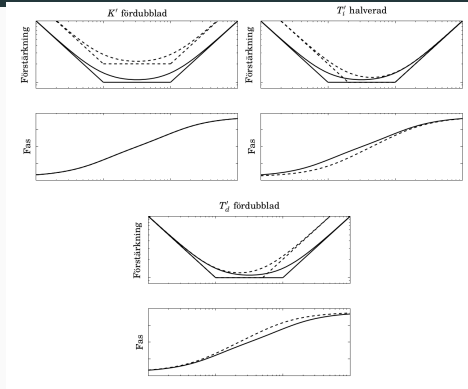
$$G_R(s) = K' \left( 1 + \frac{1}{sT_i'} \right) (1 + sT_d')$$

$$G_R(s) = K' \left( 1 + \frac{1}{sT_i'} \right) \left( 1 + \frac{sT_d'}{1 + sT_d'/N'} \right)$$



Förstärker ej högfrekvens brus lika mycket med filter på derivatadel

## PID-parametrar: Mini-quiz

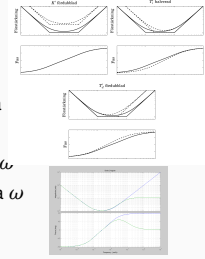


Q: Vilka kurvor motsvarar ändrade parametervärden enligt text ovan (heldraget/streckat)?

8

## Inverkan av PID-regulatorns parametrar

$K'$  ökar  $|G_c|$  ökar  
 $\arg G$  oförändrad  
 $\phi_m, A_m$  minskar  
 $\omega_c$  ökar  
 $T_i'$  minskar  $|G_c|$  ökar för små  $\omega$   
 $\arg G$  minskar för små  $\omega$   
 $\phi_m$  minskar för det mesta  
 $\omega_c$  ökar  
 $T_d'$  ökar  $|G_c|$  ökar för medelstora  $\omega$   
 $\arg G$  ökar för medelstora  $\omega$   
 $\omega_c$  ökar  
 $\phi_m$  kan ökas  
 $N'$  Bestämmer vid vilken frekvens "roll-off" ska ske (dvs var HF-förstärkningen planar ut, se modifierad PID-regulator)



9

## Regulatorinställning

Hur skall PID-regulatorns parametrar bestämmas?

Krav

- Reducera laststörningar
- Mätbrus skall ha liten inverkan
- Utsignalen skall följa ändringar i börvärdet
- Det slutna systemet skall inte vara känsligt för variationer i processens egenskaper

10

## Inställning av PID-parametrar

Experimentella metoder för att "identifiera process  $G_p$  tillräckligt" för att hitta lämpliga P-, PI-, PD- eller PID-parametrar

- Ziegler-Nichols stegsvarmetod
- Ziegler-Nichols frekvensmetod
- Lambdametoden

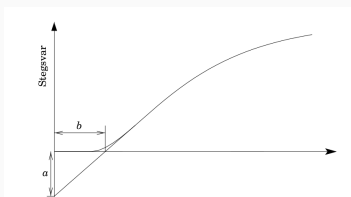
11

## Ziegler-Nichols stegsvarmetod

Experiment i manuell drift (öppen loop).

Gör stegsvar i styrsignal

Normalisera kurvan så att den svarar mot ett steg med storleken 1.



12

## Ziegler-Nichols' stegsvarmetod

Parametrarna  $a$  och  $b$  bestäms ur (det normaliserade) stegsvaret

Regulator	$k$	$T_i$	$T_d$
P	$1/a$		
PI	$0.9/a$	$3b$	
PID	$1.2/a$	$2b$	$b/2$

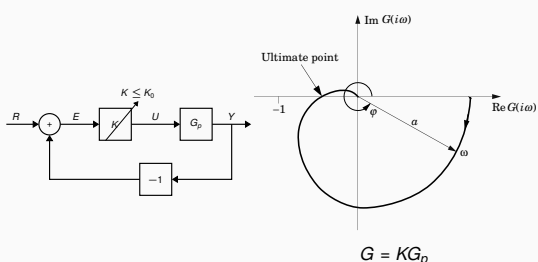
13

## Ziegler-Nichols' frekvenssvarmetod

Experiment i slutna krets med P-regulator.

Justera regulatorns förstärkning så att det slutna systemet ligger på stabilitetsgränsen.

Registrera förstärkning  $K_0$  och perioden  $T_0$  hos svängningen.



14

## Ziegler-Nichols frekvenssvarmetod

Parametrarna  $K_0$  och  $T_0$  bestäms med det speciella experimentet.

De önskade PID-parametrarna  $K$ ,  $T_i$  och  $T_d$  ges av

Reg.	$K$	$T_i$	$T_d$
P	$0.5K_0$		
PI	$0.4K_0$	$0.8T_0$	
PID	$0.6K_0$	$0.5T_0$	$0.125T_0$

15

## Sammanfattning av Ziegler-Nichols

Ziegler och Nichols arbetade på Taylor Instruments (ingår numera i ABB)

- Karakterisera processens dynamik med få parametrar
- Nichols kom fram till parametrarna genom simuleringar

### Egenskaper

- + Lätt att förklara och använda
- + Ofta använd
- Systemet alltför oscillerativt. Inbyggt i metoden
- Alltför stor översläng
- Känsligt för variationer i processen

Stort utrymme för förbättringar. Mer processinformation krävs.

16

## Lambdametoden

Ofta förekommande metod i dagens industri  
Stegsvartsmetod för experiment i öppen loop  
Förkortar processpol och väljer snabbhet för  $G_{R \rightarrow Y}(s)$  med extra parameter  $\lambda$ .

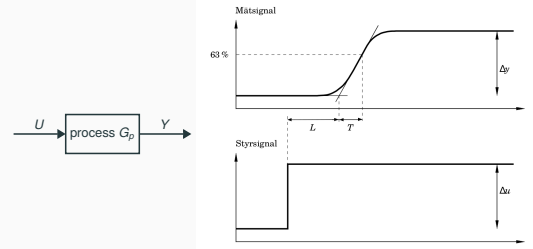


Figure 12.4 Bestämning av  $K_p$ ,  $L$  och  $T$  ur ett stegsvarexperiment.

Anm. Se föreläsning F10 för effekt av pol-nollställesförkortning.

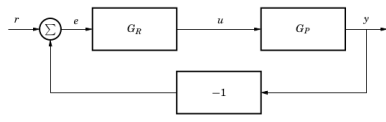
Processpol syns fortfarande i  $G_{L \rightarrow Y}(s)$



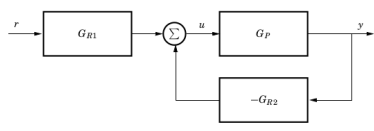
17

## Regulator - Hantering av börvärde

Standardregulator (en frihetsgrad)  $U = G_R(R - Y)$



Regulatorstruktur med två frihetsgrader  $U = G_{R1}R - G_{R2}Y$



Vanligt att vikta referens och mätsignal olika mycket i P-del (inför förstärkning  $\mathbf{b}$ ):

$$U = K(\mathbf{b}R - Y + \frac{1}{sT_i}(R - Y)) = K\frac{1 + sT_i\mathbf{b}}{sT_i}R - K\frac{1 + sT_i}{sT_i}Y$$

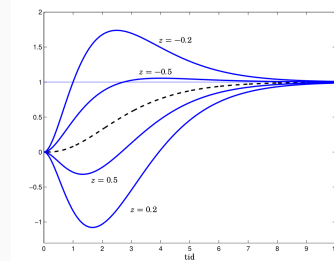
Olika nollställen!

18

## Inverkan av nollställe

Antag extra nollställe i  $s = z$ .

Betrakta stegsvar för  $G_1(s) = G(s)(1 - \frac{s}{z})$



Nollställen påverkar ej systemets stabilitet, men ändrar dess transienta beteende.

19

## PI-reglering med olika viktning av referensvärde

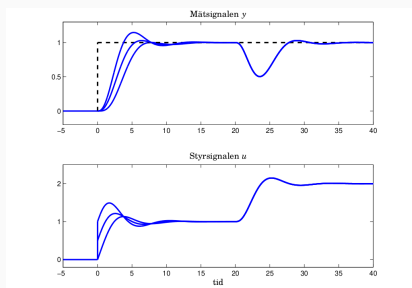
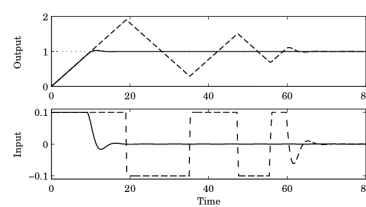


Figure 12.11 PI-reglering av processen  $G_P(s) = (s+1)^{-1}$  med en PI-regulator. Börvärdeviktningen  $\mathbf{b}$  är vald till  $\mathbf{b} = 0$  (långsammaste svaret),  $\mathbf{b} = 0.5$  och  $\mathbf{b} = 1$  (snabbaste svaret). Figuren visar svaret på en stegändring i börvärdet vid  $t = 0$  och i lasten vid  $t = 20$ .

20

## Integratoruppvridding

Problem om styrsignalen mätts (begränsas), men **integralen av felet fortsätter växa** fastän regulatorn jobbar "på max".  
Kan leda till stor onödig översläng.



[Öfn. Reglering, LTH]

Streckad kurva: problem med integratoruppvridding, Heldragen: begränsar integraldel när styrsignal mätts

Finns olika sätt att begränsa uppdatering av integraldel vid mättnig.

21

## Sammanfattning

Denna föreläsning

1. PID-regulatorn
  - Frekvenstolkning
  - Börvärdeshantering
  - Brusreducering, integratoruppvridding
2. Inställningsmetoder

Nästa föreläsning

- Regulatorstrukturer
- Implementering

22