

Systemteknik/Processreglering Föreläsning 9

PID-regulatorn

- PID-algoritmen
- Frekvenstolkning
- Praktiska modifieringar
- Inställningsmetoder
 - Manuell inställning
 - Ziegler–Nichols metoder
 - Modellbaserad inställning

Läsanvisning: *Process Control*: 5.1–5.7

1

PID-regulatorn

"Based on a survey of over eleven thousand controllers in the refining, chemicals and pulp and paper industries, 97% of regulatory controllers utilize PID feedback."

[L. Desborough and R. Miller, 2002]

"Läroboksformen":

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

Överföringsfunktion:

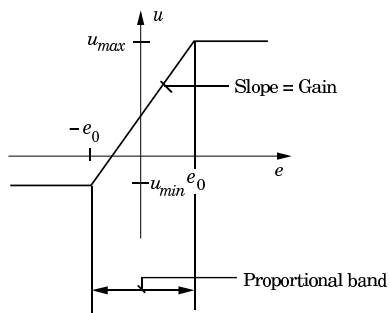
$$G_r(s) = K \left(1 + \frac{1}{sT_i} + sT_d \right)$$

2

P-delen

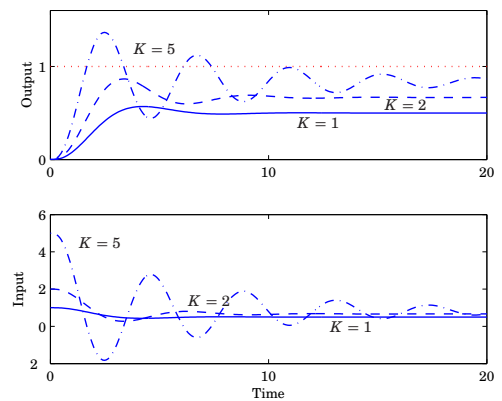
P-regulator:

$$u = K(r - y) + u_0 = Ke + u_0$$



3

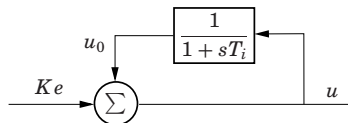
Exempel: P-reglering av $G_p(s) = (s + 1)^{-3}$



4

I-delen

Inför automatisk inställning av u_0 (automatic reset):

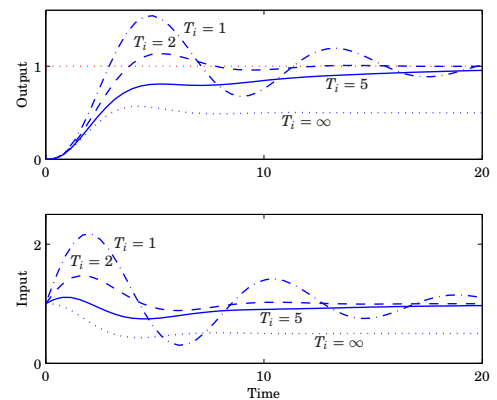


$$U(s) = KE(s) + \frac{1}{1 + sT_i} U(s)$$

$$U(s) = K \left(1 + \frac{1}{sT_i} \right) E(s)$$

5

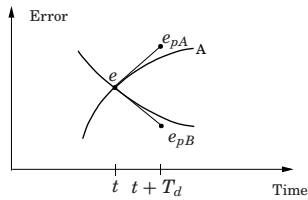
Exempel: PI-reglering av $G_p(s) = (s + 1)^{-3}$ ($K = 1$)



6

D-delen

En P-regulator ger samma styrsignal i fallen A och B nedan:



Predikterat fel:

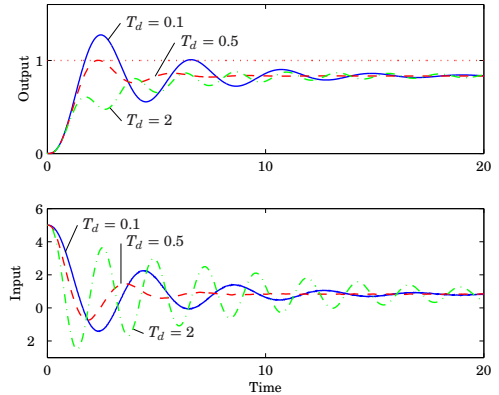
$$e_p(t + T_d) \approx e(t) + T_d \frac{de(t)}{dt}$$

PD-regulator:

$$u(t) = K \left(e(t) + T_d \frac{de(t)}{dt} \right)$$

7

Exempel: PD-reglering av $G_p(s) = (s + 1)^{-3}$ ($K = 5$)



8

Serieformen av PID-regulatorn

PID-regulator på standardform (parallellform):

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

PID-regulator på serieform (vanlig i industrin):

$$G_r'(s) = K' \frac{(1 + sT_i')(1 + sT_d')}{sT_i'}$$

Omvandling serie $\rightarrow$ parallell:

$$K = K' \frac{T_i' + T_d'}{T_i' T_d'}$$

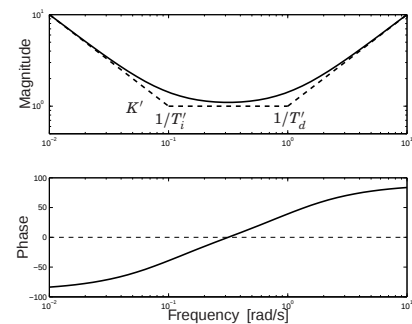
$$T_i = T_i' + T_d'$$

$$T_d = \frac{T_i' T_d'}{T_i' + T_d'}$$

(Motsatta hålet bara möjligt om $T_i \geq 4T_d$ – se boken)

9

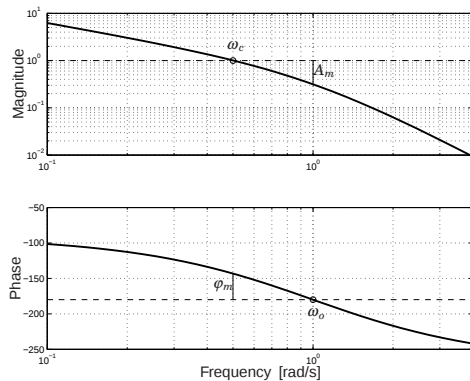
Frekvensanalys av PID-regulatorn



- P-delen påverkar förstärkningen vid alla frekvenser
- I-delen ökar förstärkningen och minskar fasen vid låga frekvenser
- D-delen ökar förstärkningen och ökar fasen vid höga frekvenser

10

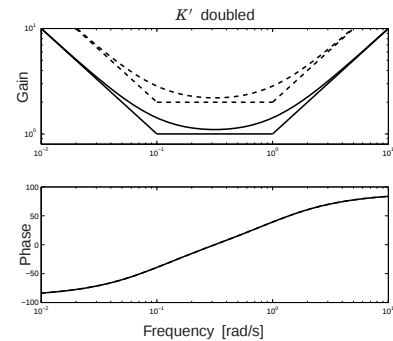
Typiskt Bodediagram för kretsförstärkningen $G_0 = G_p G_r$:



Hur påverkas systemets snabbhet (ω_c) och robusthet (ϕ_m) om PID-parameterna ändras?

11

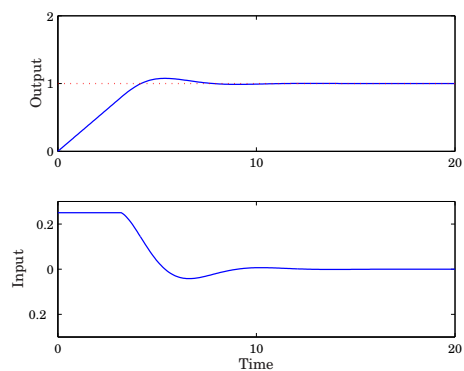
K' dubblas:



- ω_c ökar – ökad snabbhet
- ϕ_m minskar – minskad robusthet

12

Samma eksempel med oppvridningsskydd:



19

Modifisering av D-delen

- Börvärdesviktning: derivere endast måtsignalen, ej börvärdet:

$$D(t) = -KT_d \frac{dy(t)}{dt}$$

- Begrænse förstärkningen med ett lågpasfilter (extra pol):

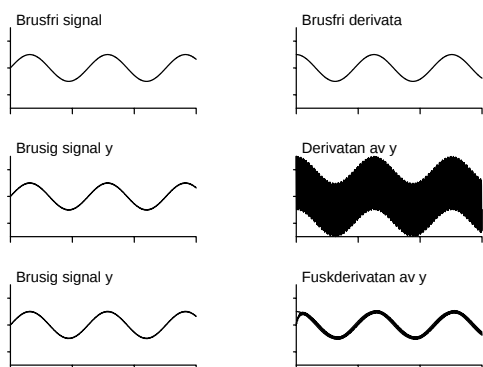
$$D(s) = -\frac{sKT_d}{1 + sT_d/N}Y(s)$$

("fuskderivata")

Maximala derivataförstärkningen N väljs typiskt i intervallet 5–20

20

Exempel: $y(t) = \sin t + 0.01 \sin 100t$, $T_d = 1$, $N = 5$



21

Modifisering av P-delen

Inför börvärdesviktning β :

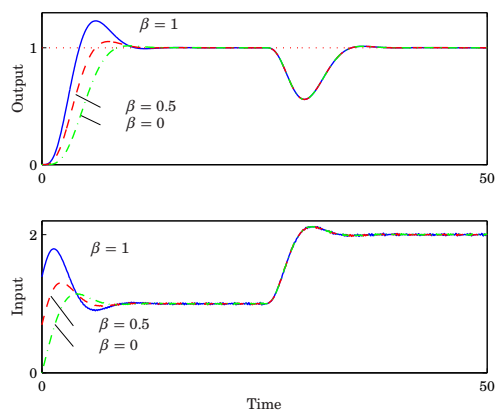
$$P(t) = K(\beta r(t) - y(t)), \quad 0 \leq \beta \leq 1$$

Kan användas för att minska överslängen vid börvärdesändringar (placerar ett nollställe hos slutna systemet)

OBS! Fungerar bara om även I-delen är inkopplad

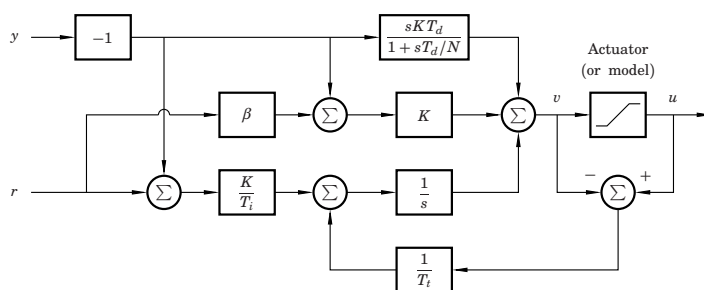
22

Exempel (börvärdesändring vid $t = 0$, laststörning vid $t = 25$):



23

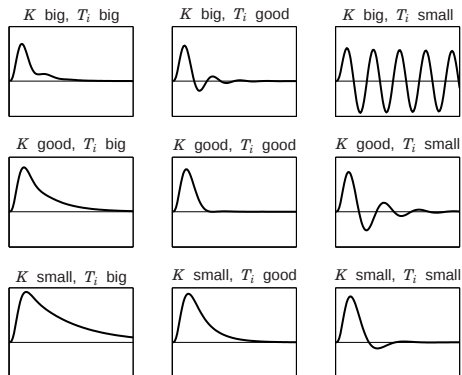
Sammanfattning av PID-regulatorn med praktiska modifiseringar



24

Manuell inställning

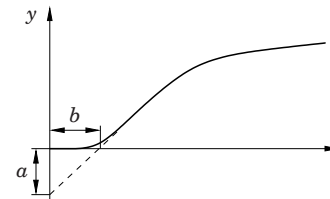
Tumregler, inställningsscheman (*tuning charts*). Exempel (PI):



25

Ziegler–Nichols stegsvarsmetod

Experiment på öppet system. Uppmätt stegsvar för processen:



Regulator	K	T_i	T_d
P	$1/a$		
PI	$0.9/a$	$3b$	
PID	$1.2/a$	$2b$	$0.5b$

(Alternativa sätt att läsa av parametrarna finns – se boken)

26

Ziegler–Nichols frekvensmetod (*ultimate-sensitivity method*)

Experiment på slutet system

1. Koppla bort integral- och derivatadeln hos PID-regulatorn.
2. Öka K tills systemet självsvänger med konstant amplitud. Detta värde på K betecknas K_0 .
3. Uppmät periodtiden T_0 hos självsvängningen.

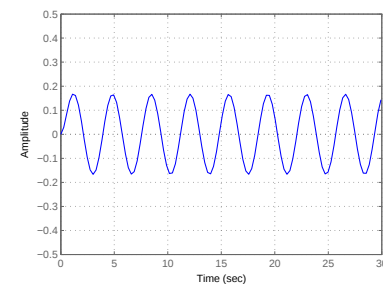
Regulator	K	T_i	T_d
P	$0.5K_0$		
PI	$0.45K_0$	$T_0/1.2$	
PID	$0.6K_0$	$T_0/2$	$T_0/8$

27

Ziegler–Nichols metoder ger ofta aggressiva inställningar med dålig dämpning

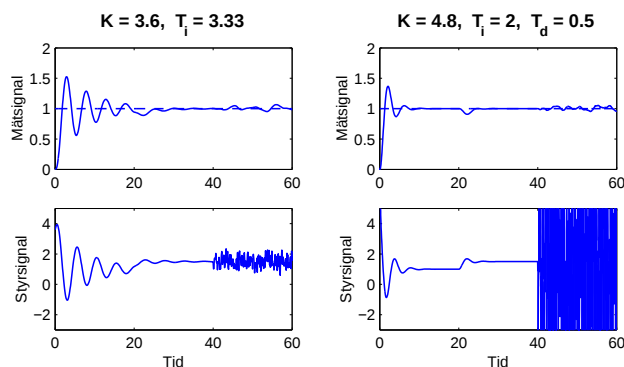
Exempel: Frekvensmetoden på $G_p(s) = (s + 1)^{-3}$

P-regulator med $K_0 = 8$ ger svängning med perioden $T_0 \approx 4$:



28

PI- respektive PID-reglering av $G_p(s) = (s + 1)^{-3}$:



(Börvärdesändring vid $t = 0$, laststörning vid $t = 20$, mätbrus från $t = 40$)

29

Modellbaserad inställning (Lab 2)

1. Tag fram processens överföringsfunktion $G_p(s)$
2. Välj regulator typ $G_r(s)$
3. Beräkna slutna systemets överföringsfunktion:

$$G_{cl}(s) = \frac{G_p(s)G_r(s)}{1 + G_p(s)G_r(s)}$$

4. Välj regulatorparametrar så att $G_{cl}(s)$ får önskade poler / önskat karakteristiskt polynom (polplacering)
 - Linjärt ekvationssystem

30