EL1000/1120/1110 Reglerteknik AK

Föreläsning 6:
Kompensering (forts.),
robusthet och känslighet

Kursinformation

- Lab 3: Anmälningslistor ligger nu ute på kurshemsidan:

  https://www.ee.kth.se/lab

- **OBS! En (1) anmälan per grupp (per 2 personer). Annars räcker inte platserna till.**
- Ingen partner för Lab 3? Kolla och skriv upp dig på lista eller maila mig (hsan@kth.se)!

- Övningsfrågor till Lab 2 finns tillgängliga i BILDA

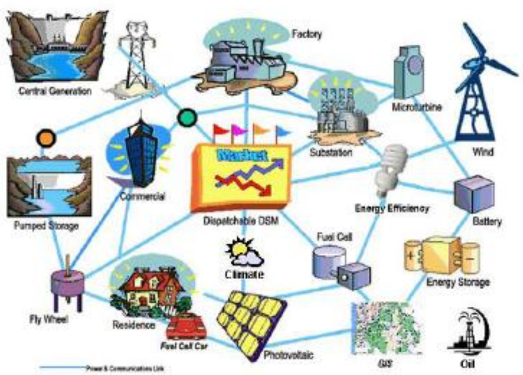
SURF-student på Caltech?

KTH Elektro- och systemteknik

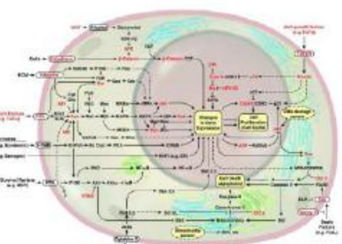
Summer
Undergraduate
Research
Fellowships

- ✓ Vill du prova på att forska?
- ✓ Är du intresserad av reglerteknik?
- ✓ Är du ambitiös och initiativrik?
- ✓ Har du inget inplanerat nästa sommar?
- ✓ Är du nyfiken på Kalifornien?

Smarta elnät



Systembiologi



Autonoma farkoster

Vi på avdelningen för reglerteknik vid skolan för elektro- och systemteknik har möjlighet att skicka 1-2 teknologer till *California Institute of Technology* (www.caltech.edu) i *Pasadena, Kalifornien,* under sommaren 2012.

Vi söker *teknologer* på KTH som är intresserade av forskning inom regler- och systemteknik, och vill spendera 10 veckor i en forskargrupp av högsta internationella klass. Anmäl intresse senast den **22 november 2011**. Intresserad eller vill veta mer?

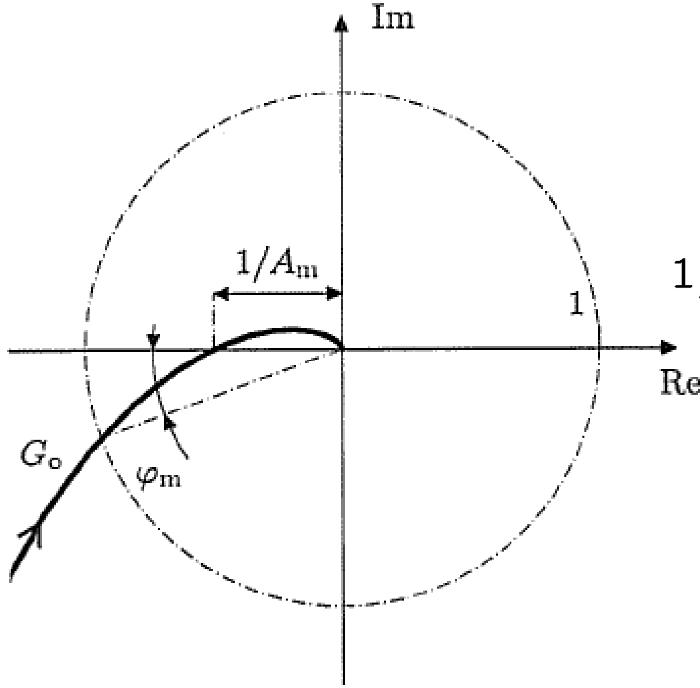
Kontakta *Henrik Sandberg (hsan@ee.kth.se)*
www.ee.kth.se/~hsan/surf.html

Innehåll

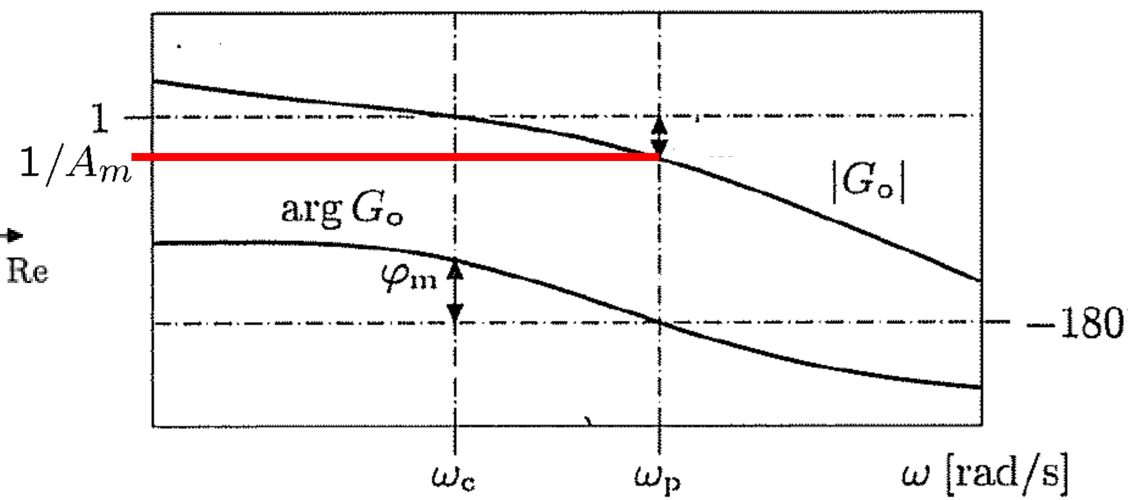
- Stabilitetsmarginaler, specifikation av prestanda i tids- och frekvensplanet (repetition)
- Kompensering (forts.)
- Icke-minfassystem
- Robusthet – Stabilitet trots modellfel
- Känslighet – Reglerprestanda trots störningar

Amplitud- och fasmarginal

Nyquistdiagram



Bodediagram



Fas-skärfrekvens ω_p och amplitudmarginal A_m

Skärfrekvens ω_c och fasmarginal φ_m

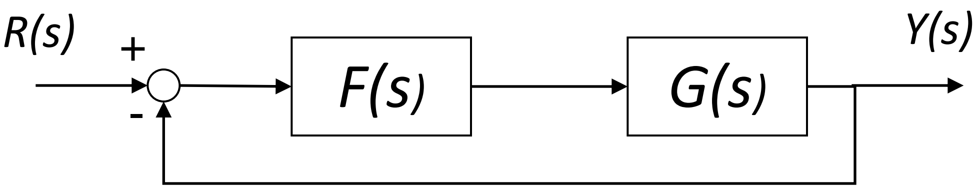
Mäter avstånd till instabilitetspunkten (-1)

Specifikationer för slutna systemet

$$G_o(s) = G(s)F(s)$$

$$G_c(s) = \frac{G_o(s)}{1 + G_o(s)}$$

$$y(t) = \mathcal{L}^{-1}\left[G_c(s)\frac{1}{s}\right] \text{ (stegsvar)}$$

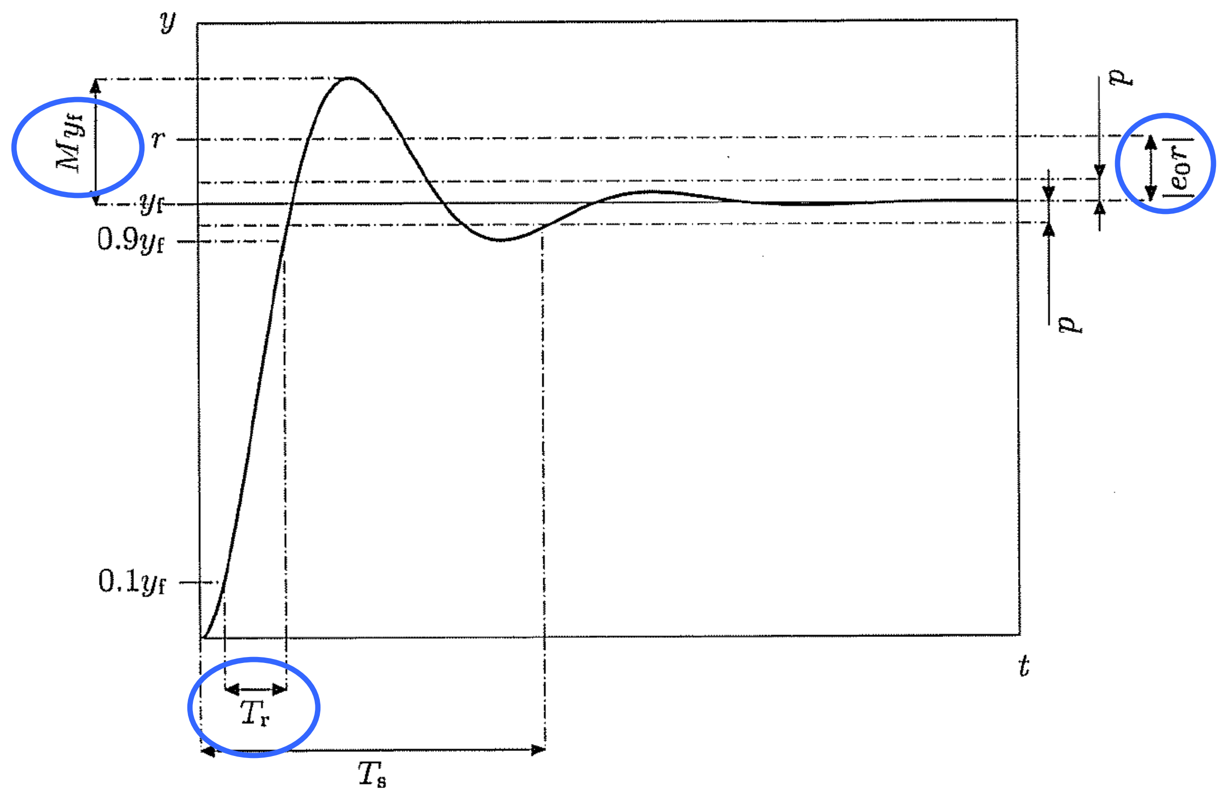


I tidsplanet

Snabbhet: T_r

Dämpning: M

Statiskt fel: e_0

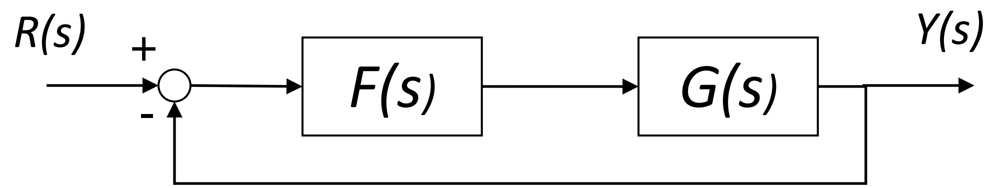


Specifikationer för slutna systemet

$$G_o(s) = G(s)F(s)$$

$$G_c(s) = \frac{G_o(s)}{1 + G_o(s)}$$

$$y(t) = \mathcal{L}^{-1}\left[G_c(s)\frac{1}{s}\right] \text{ (stegsvar)}$$

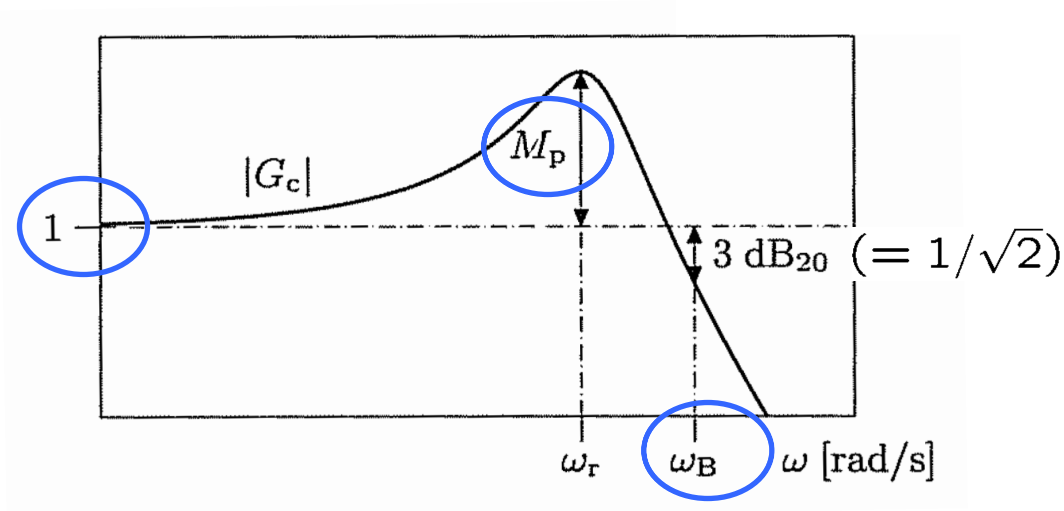


I frekvensplanet

snabbhet: bandbredd ω_B $\quad (|G_c(i\omega)| \approx 1 \quad \omega < \omega_B)$

dämpning: resonanstopp M_p $\quad (\max_\omega |G_c|)$

stationärt fel: $e_0 = 1 - G_c(0)$

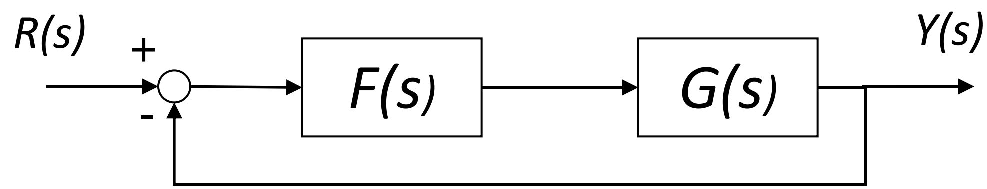


Specifikationer för <u>öppna</u> systemet

$$G_o(s) = G(s)F(s)$$

$$G_c(s) = \frac{G_o(s)}{1 + G_o(s)}$$

$$y(t) = \mathcal{L}^{-1}\left[G_c(s)\frac{1}{s}\right] \text{ (stegsvar)}$$

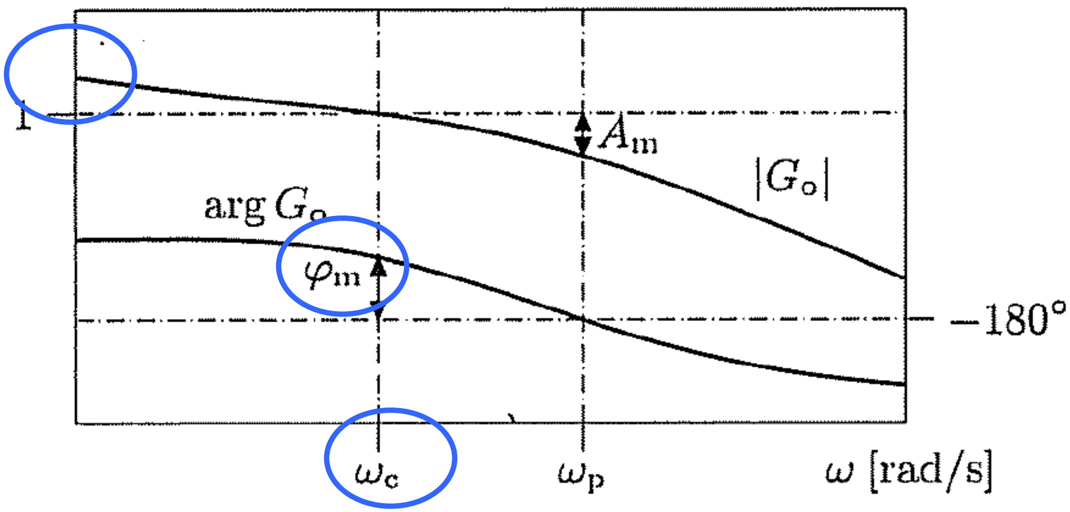


I frekvensplanet

skärfrekvens ω_c $(\omega_c \approx \omega_B)$

fasmarginal φm $(M_p > 1/\varphi m \text{ [rad]})$

statisk förstärkning $G_o(0)$ $(e_0 \approx 1/G_o(0))$



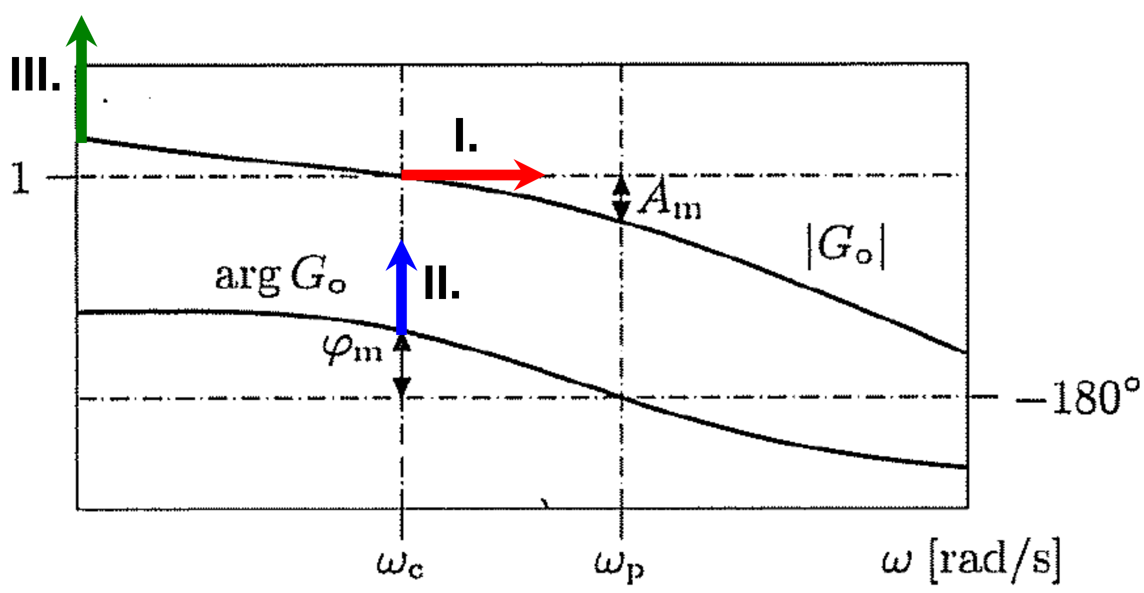
Specifikationer för kompensering av G_o

Krav på:

I. Snabbhet $T_r \sim 1/\omega_B \sim 1/\omega_c$

II. Dämpning $M \sim M_p \geq 1/\varphi_m$

III. Statiskt fel (stegsvar) $e_0 = 1 - G_c(0) = 1/(1+G_o(0))$



Kompensering

$$F(s) = \underbrace{K}_{\text{fixar } \omega_c} \underbrace{\left(\frac{\tau_D s + 1}{\beta \tau_D s + 1}\right)^N}_{\text{fixar } \varphi_m} \underbrace{\frac{\tau_I s + 1}{\tau_I s + \gamma}}_{\text{fixar } G_o(0)}$$

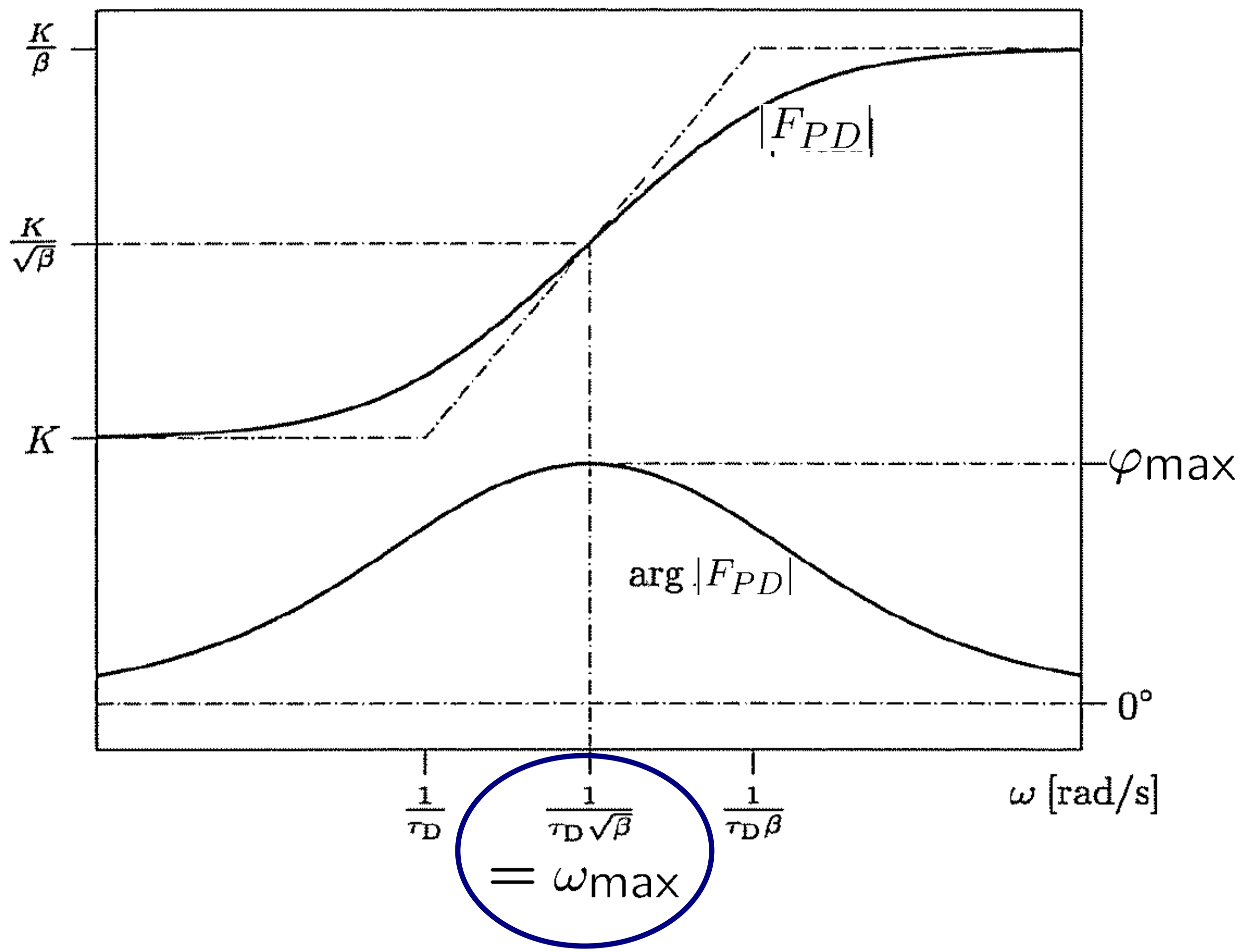
Idé: använd $F(s)$ för att att forma kretsförstärkningen $G_o(i\omega) = G(i\omega)F(i\omega)$ så att den uppfyller krav på :

- skärfrekvens ω_c
- fasmarginal φ_m
- lågfrekvensförstärkning $G_o(0)$

OBS! *N=1* ger PID-regulator

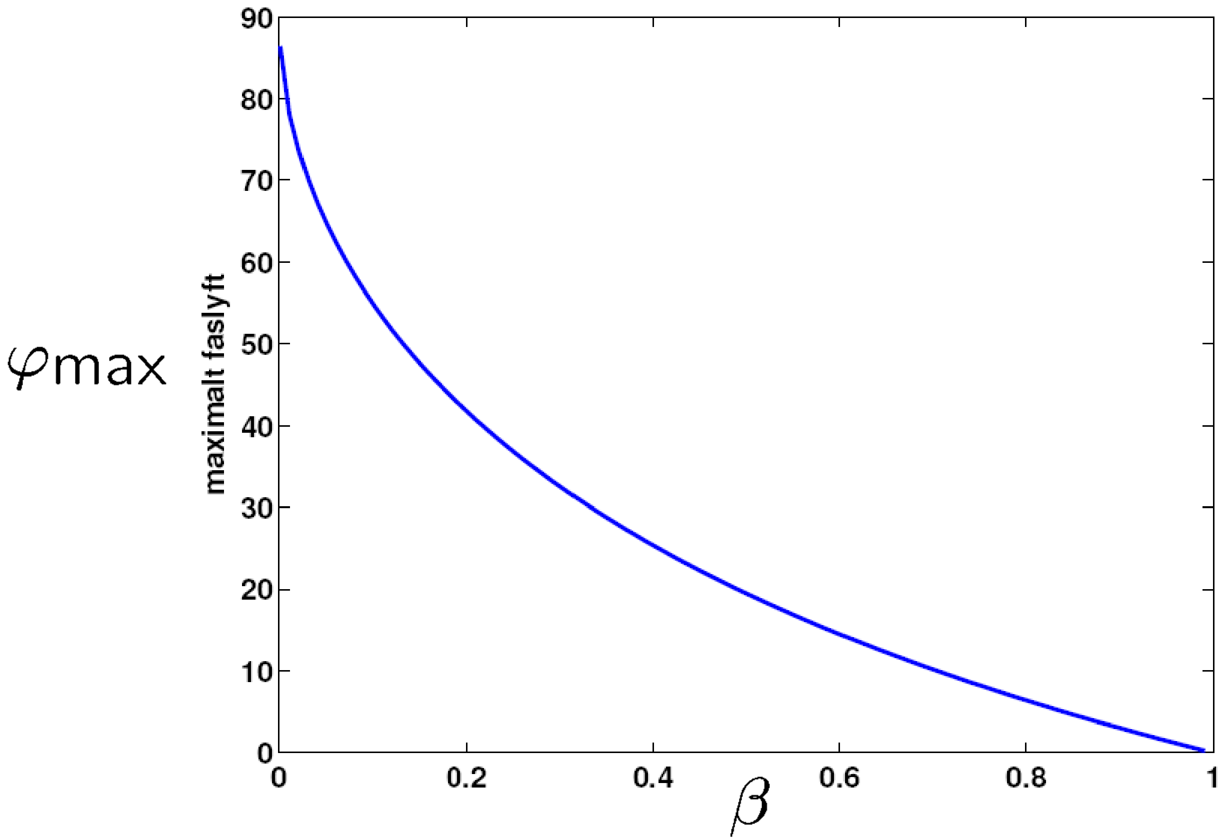
I+II. Kompensering med PD-länk

$$F_{PD}(s) = K\frac{\tau_D s + 1}{\beta \tau_D s + 1}$$



- fördel: positivt fasbidrag (faslyft)
- nackdel: stor förstärkning vid höga frekvenser

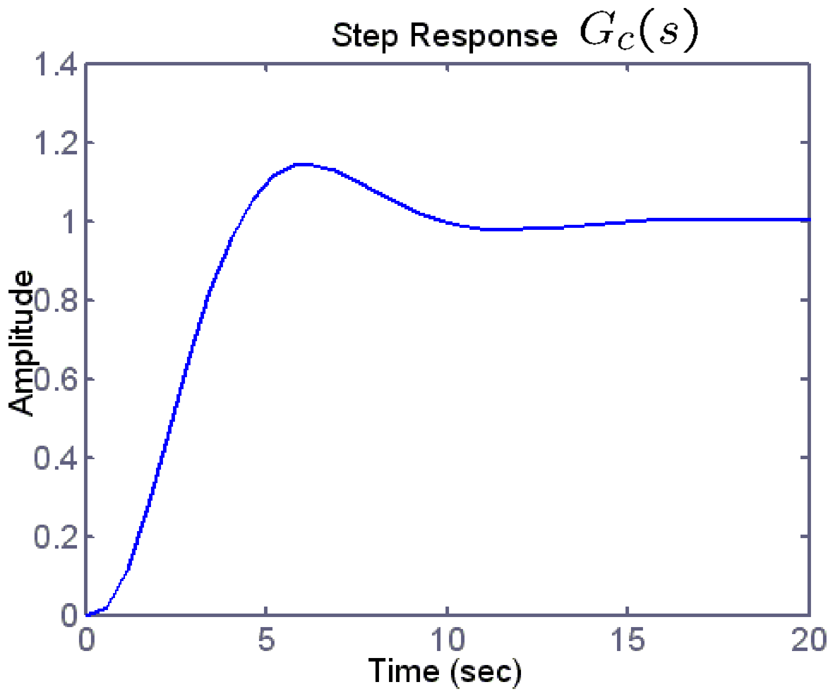
Maximalt faslyft beror på β

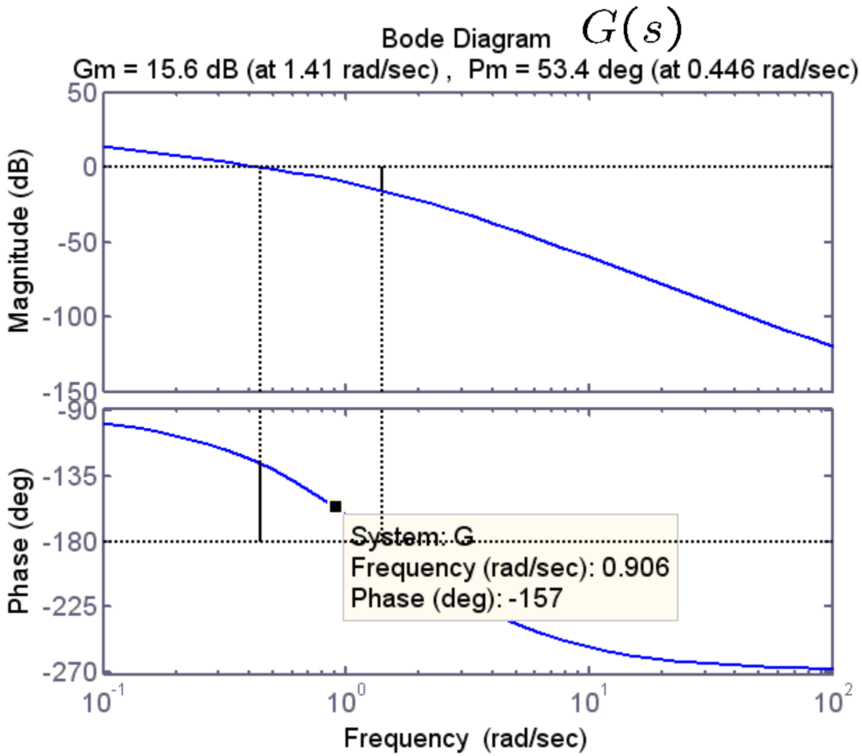


1. Bestäm β så att fasökningen blir tillräckligt stor
2. Bestäm τ_D så att $\omega_c = \omega_{\text{max}} (= 1/\tau_D\sqrt{\beta})$
3. Bestäm K så att $|F(i\omega_c)G(i\omega_c)| = 1$

Exempel (I+II.)

$$G(s) = G_o(s) = \frac{1}{s(s+1)(s+2)} \qquad G_c(s) = G_o(s)/(1+G_o(s))$$





Gör slutna systemet G_c dubbelt så snabbt och bibehåll dämpning $\Rightarrow$ Dubbla ω_c och bibehåll φm

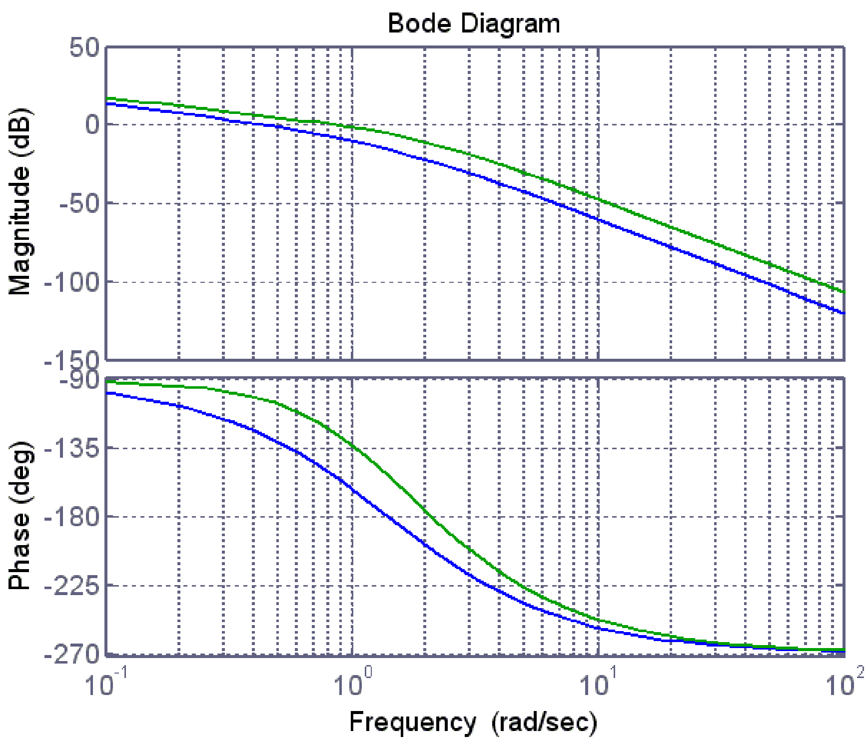
Välj en PD-länk

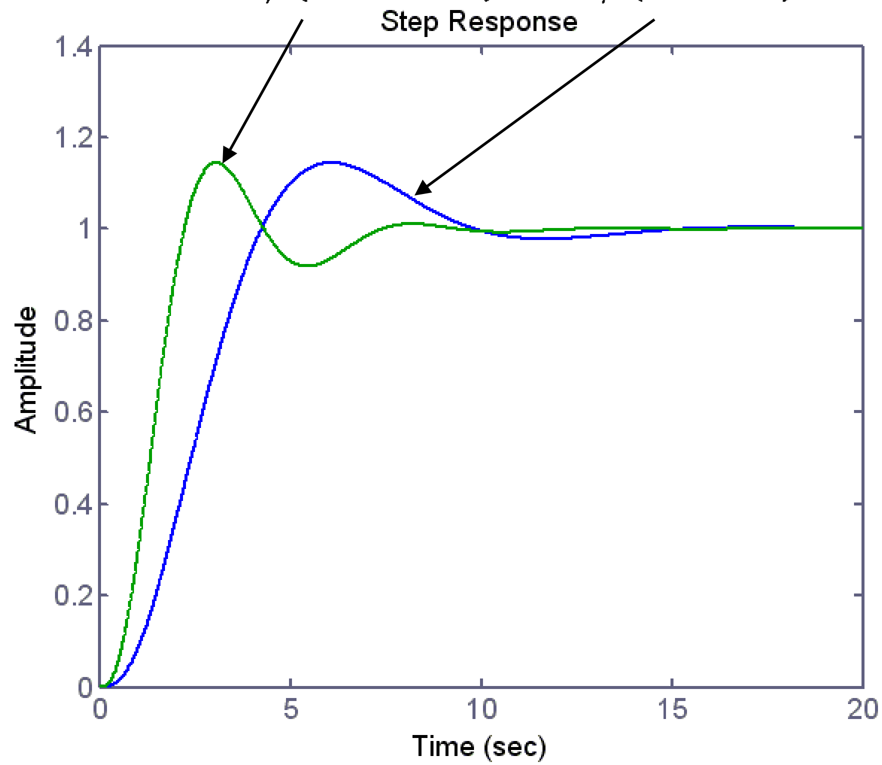
1. φm = *53º* vid ω_c*=0.45* rad/s. φm *=23º* vid ω_c*=2*0.45=0.9* rad/s. Öka fasen med 30º $\Rightarrow$ β*=0.35*
2. *0.9=*ω_c*=*ω_{max}*=1/*$\tau_D \beta^{0.5}$ $\Rightarrow$ τ_D*=1.88*
3. *1=|G(i*ω_c*)F*$_{PD}$*(i*ω_c*)|,* ω_c*=0.9* rad/s $\Rightarrow$ *K=1.56*

$$F(s) = F_{PD}(s) = 1.56\frac{1.88s+1}{0.66s+1}$$

Exempel: Validering

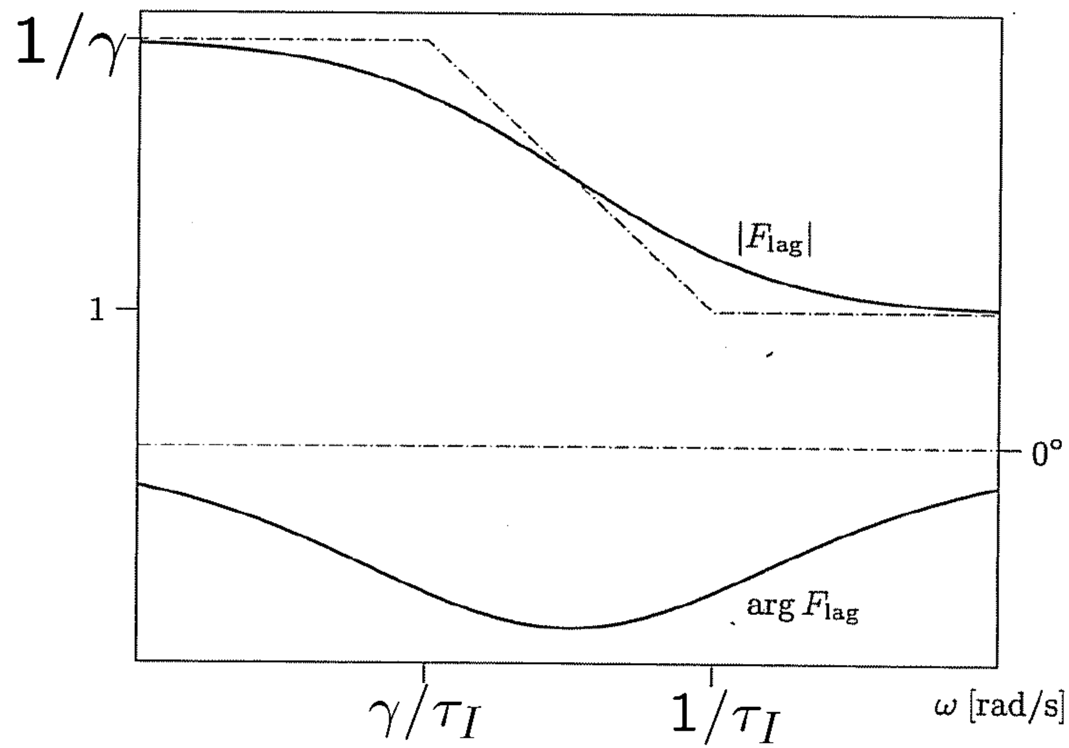
$G(s), \quad G(s)F(s)$ $\qquad FG/(1+FG) \quad G/(1+G)$





III. Kompensering med PI-länk

$$F_{lag}(s) = \frac{\tau_I s + 1}{\tau_I s + \gamma}$$



- **Fördel:** Ger stor lågfrekvent förstärkning. Minskar statiskt fel med ungefär *$1/\gamma$* (se övning för exakt analys)
- **Nackdel:** Minskar fasmarginalen. Välj τ_I tillräckligt stort (tumregel: Välj $\tau_I = 10/\omega_c$ så minskar fasen med 6^o)

Icke-minfassystem (Nytt för idag)

Anta $G(s)$ stabil och $G(0) > 0$

- *Minimum-fas system:* systemets asymptotiska fas ϕ proportionell mot asymptotiska amplitud-kurvans lutning i log-log diagram

$$\phi = \mathit{lutning} \cdot 90^o \qquad \text{lutning} = \frac{d \log |G(i\omega)|}{d \log \omega}$$

- *Icke-minimum fas system*

$$\phi < \mathit{lutning} \cdot 90^o$$

- Icke-minimum fas orsakas av **nollställen i HHP** och **tidsfördröjningar**

Betydelse av nollställen för stegsvar

$$G_1(s) = \frac{4s+1}{(s+1)^2} \qquad G_2(s) = \frac{-4s+1}{(s+1)^2}$$