



EL1000/1120/1110 Reglerteknik AK

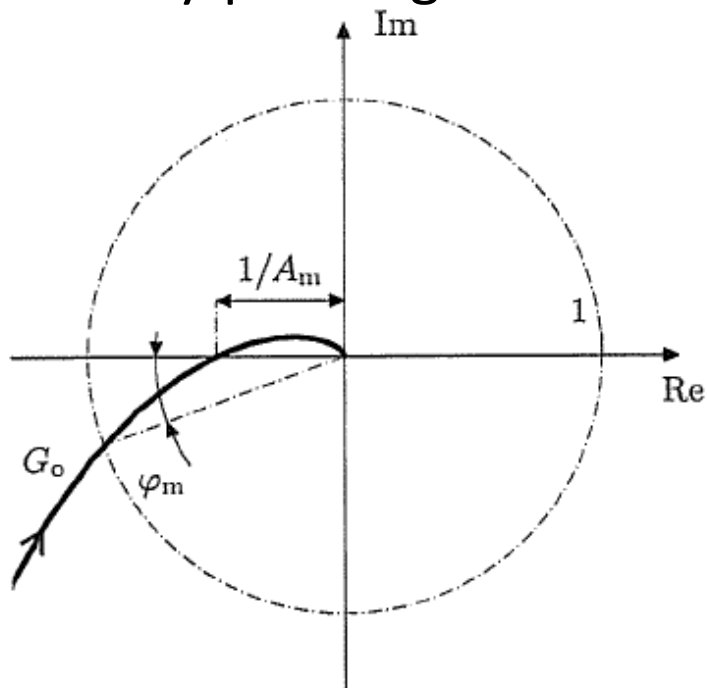
Föreläsning 6:
Kompensering (forts.),
robusthet och känslighet

Innehåll

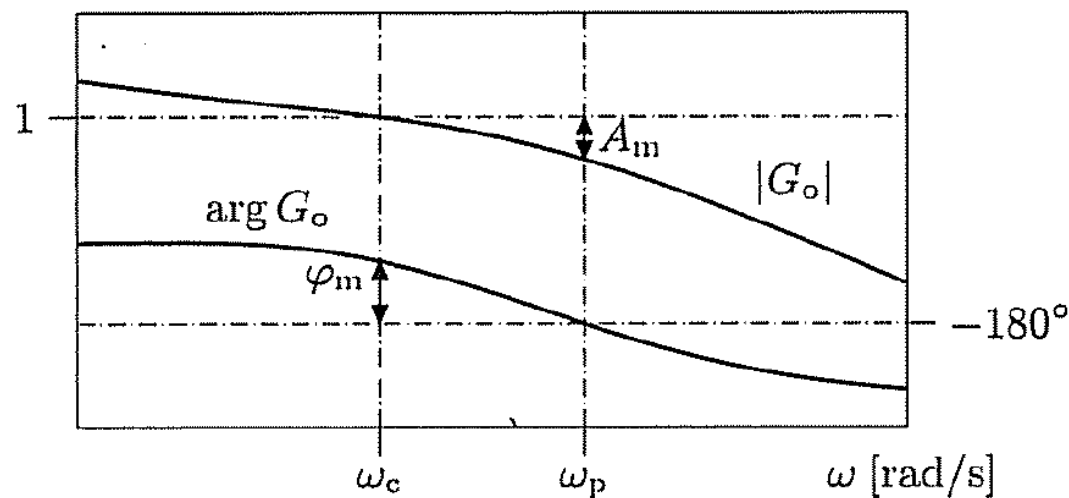
- Stabilitetsmarginaler, specifikation av prestanda i tids- och frekvensplanet (repetition)
- Kompensering (forts.)
- Icke-minfassystem
- Robusthet – Stabilitet trots modellfel
- Känslighet – Mått på reglerprestanda

Amplitud- och fasmarginal

Nyquistdiagram



Bodediagram



Fas-skärfrekvens ω_p och amplitudmarginal A_m

Skärfrekvens ω_c och fasmarginal φ_m

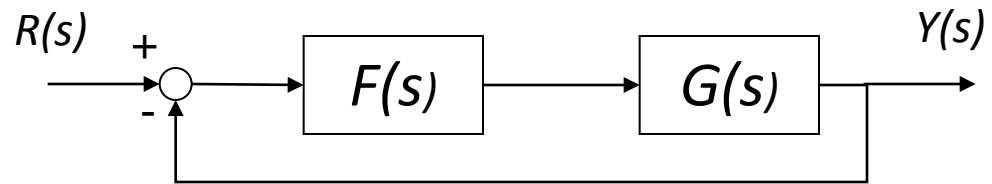
Mäter avstånd till instabilitetspunkten (-1)

Specifikationer för slutna systemet

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

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

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

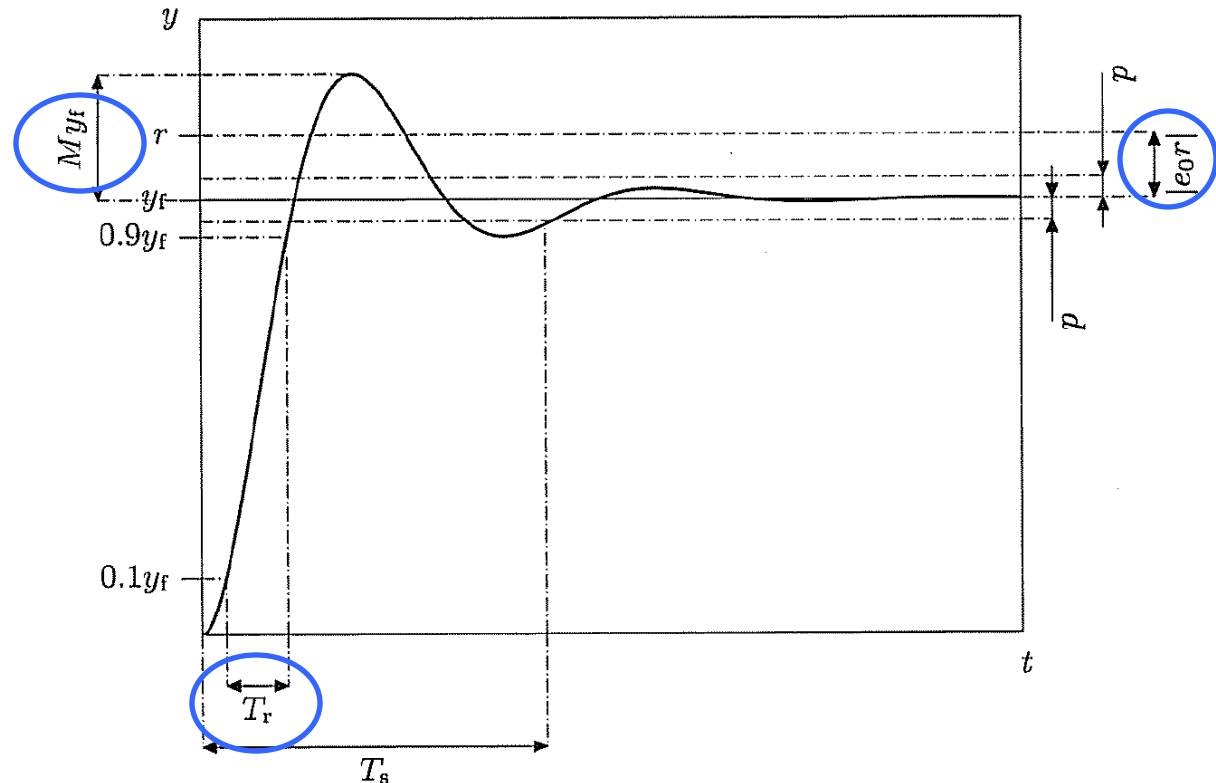


I tidsplanet

Snabbhet: T_r

Dämpning: M

Statiskt fel: e_0

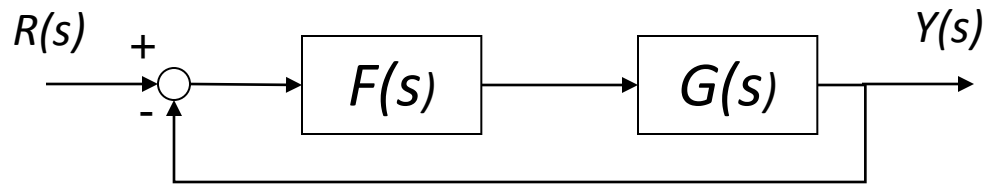


Specifikationer för slutna systemet

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

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

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

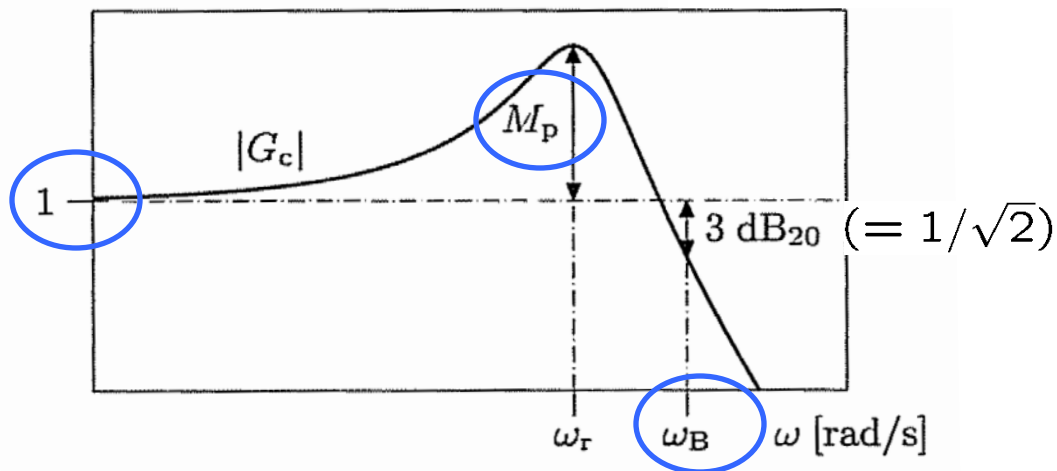


I frekvensplanet

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

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

stationärt fel: $e_0 = 1 - G_c(0)$

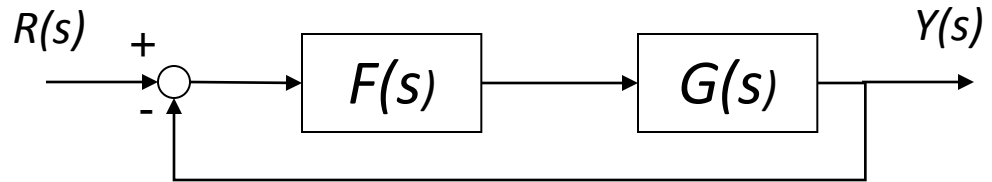


Specifikationer för öppna systemet

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

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

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



I frekvensplanet

skärffrekvens ω_c

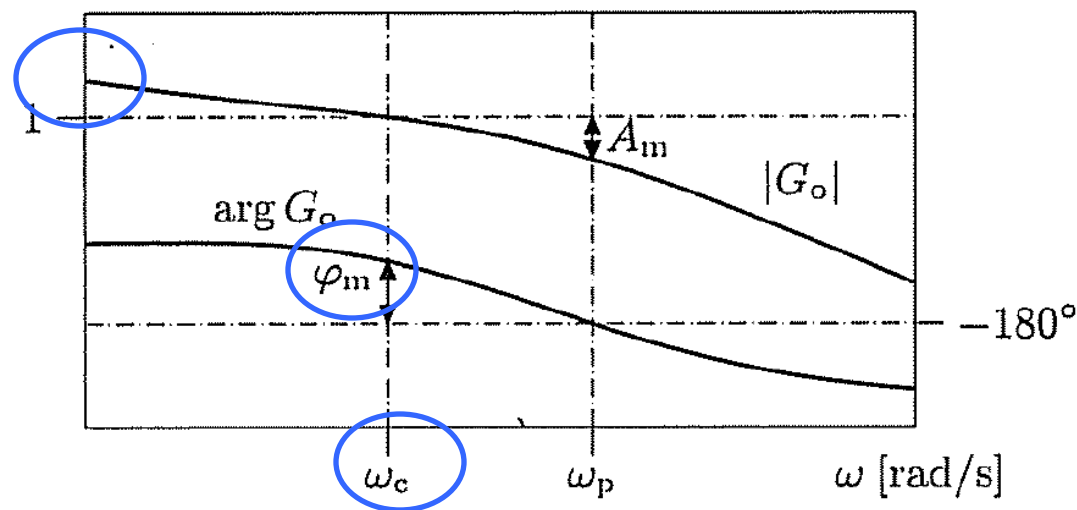
($\omega_c \approx \omega_B$)

fasmarginal φ_m

($M_p > 1/\varphi_m$)

statisk förstärkning $G_o(0)$

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



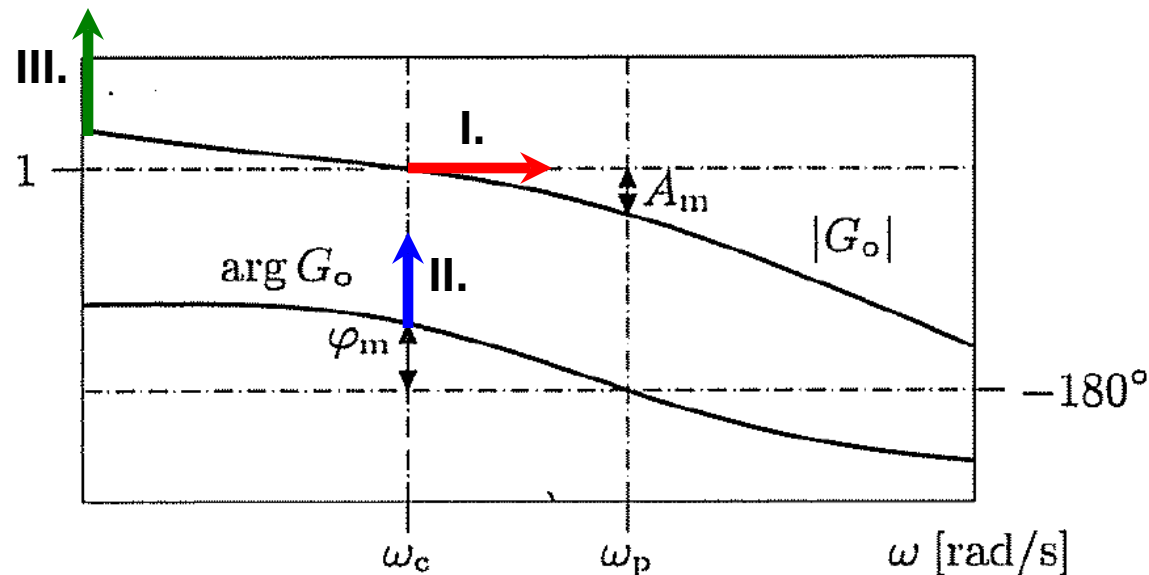
Specifikationer för kompensering av G_o

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

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

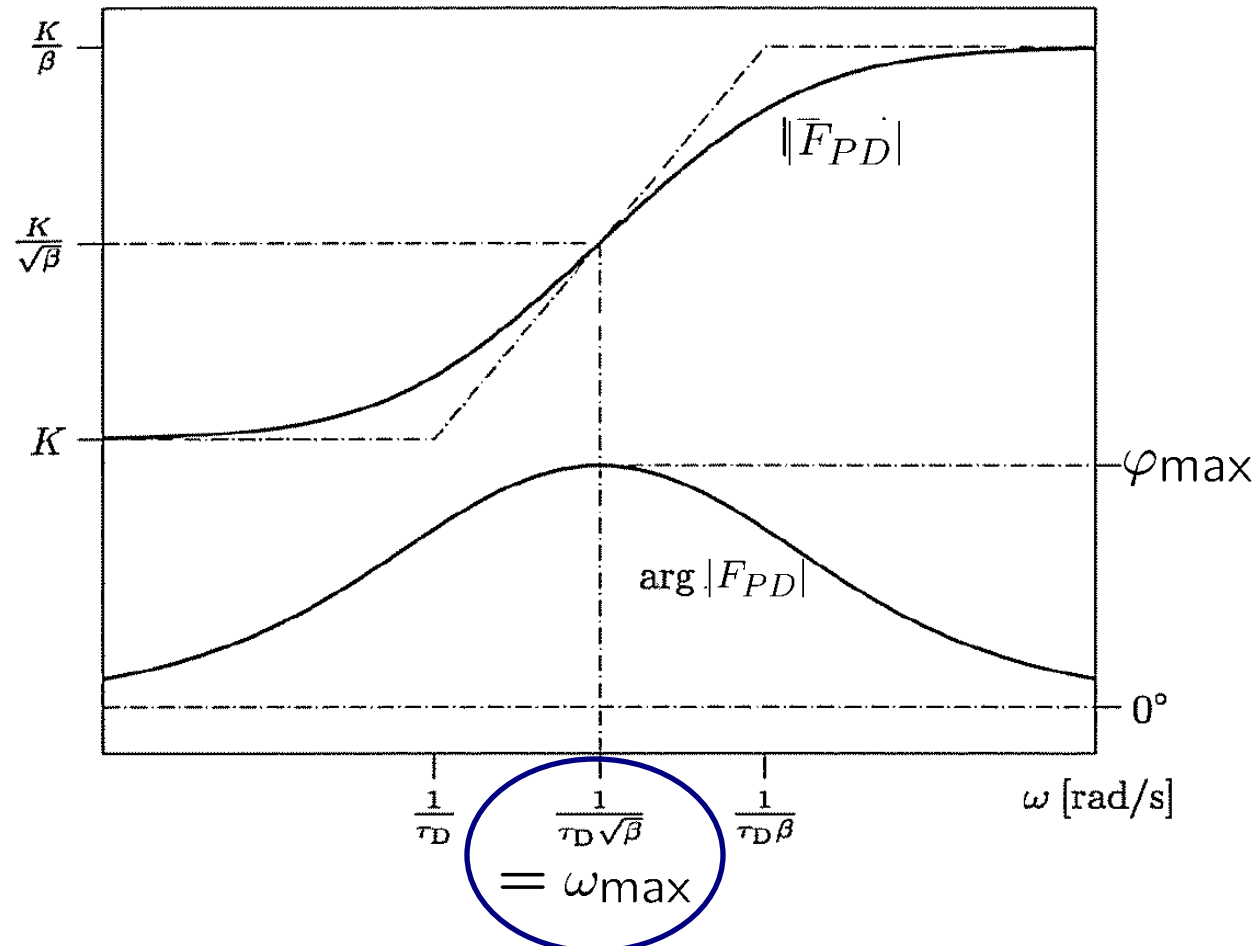
Idé: använd $F(s)$ för att att forma kretsförstärkningen $G_o(i\omega) = G(i\omega)F(i\omega)$ så att den uppfyller krav på :

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

OBS! $N=1$ ger PID-regulator

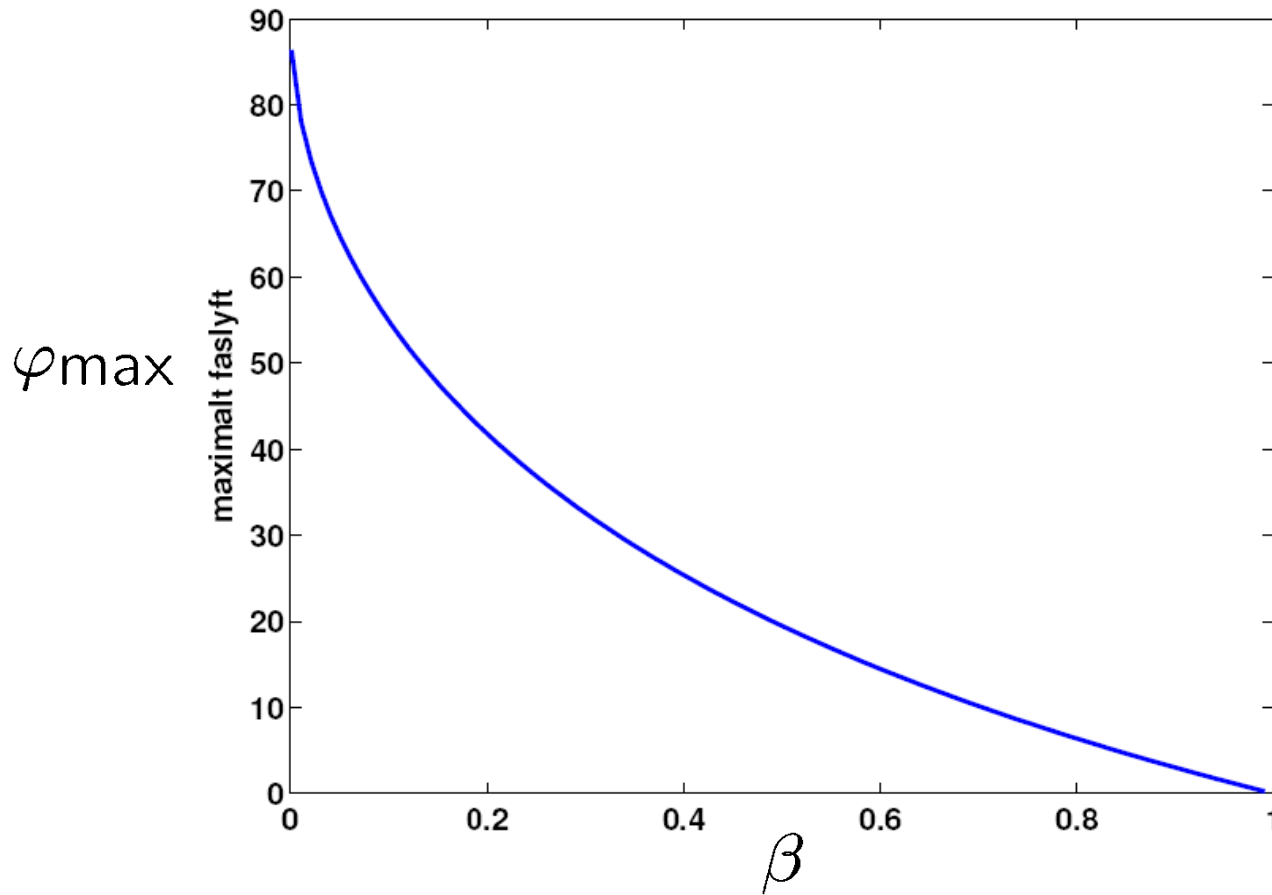
I+II. Kompensering med PD-länk

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



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

Maximalt faslyft beror på β



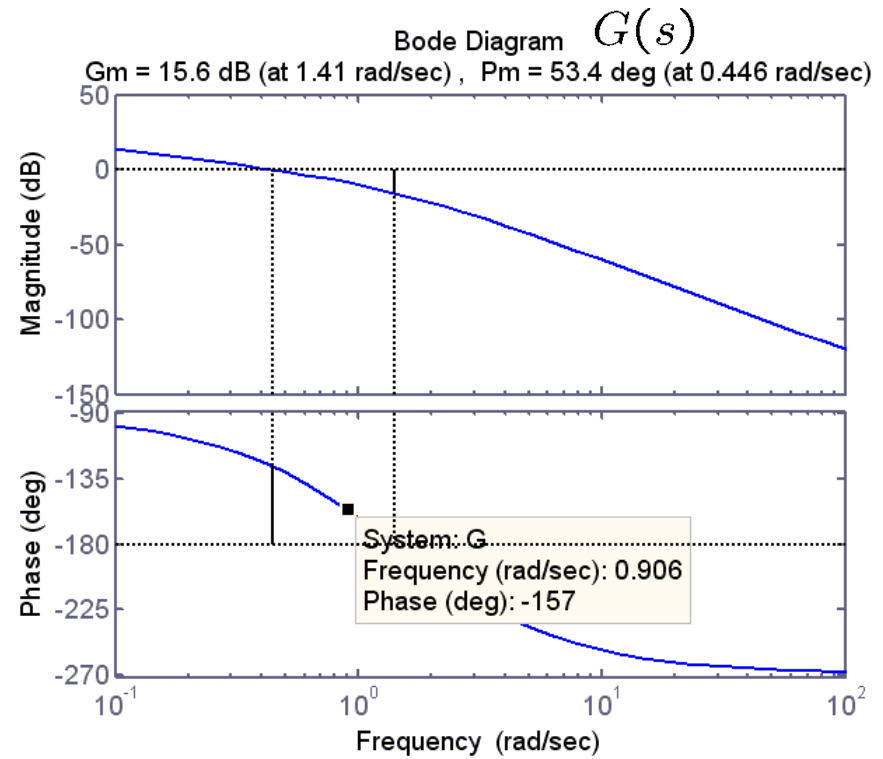
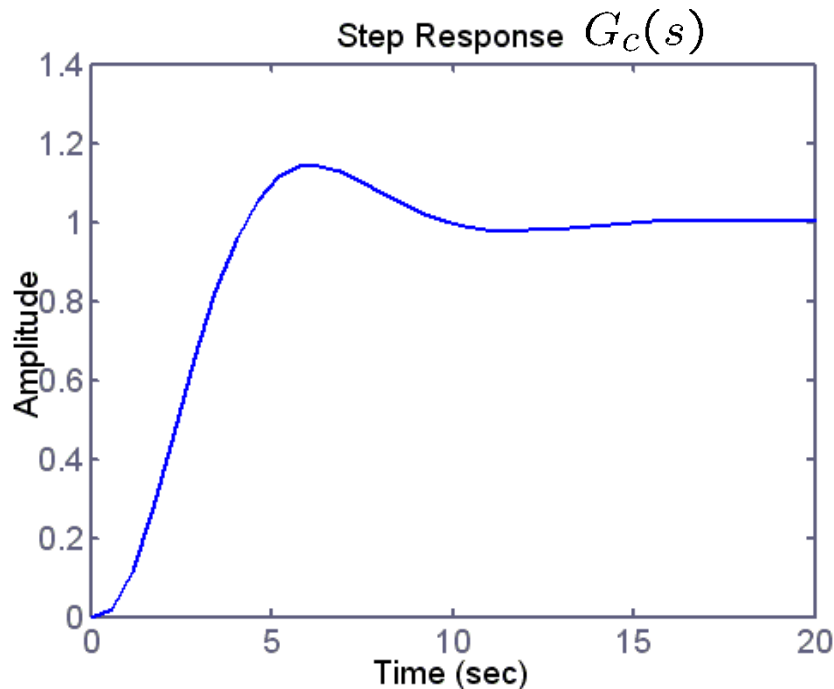
1. Bestäm β så att fasökningen blir tillräckligt stor
2. Bestäm τ_D så att $\omega_c = \omega_{\max}(= 1/\tau_D\sqrt{\beta})$
3. Bestäm K så att $|F(i\omega_c)G(i\omega_c)| = 1$

Exempel (I+II.)

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

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

$$G_c(s) = G(s)/(1 + G(s))$$

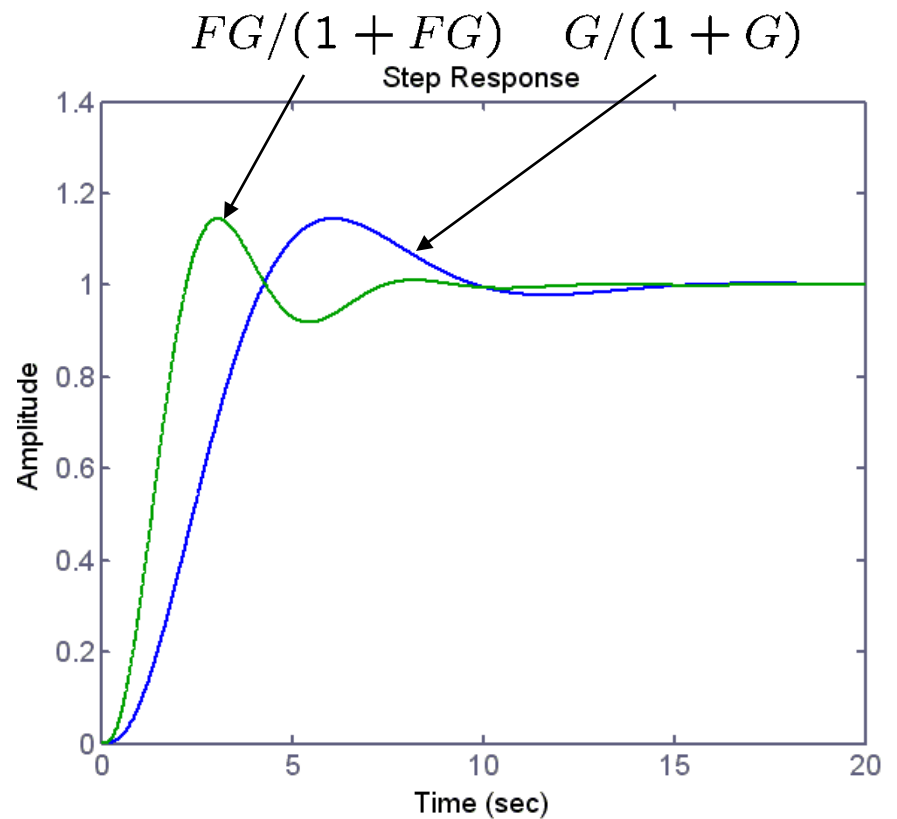
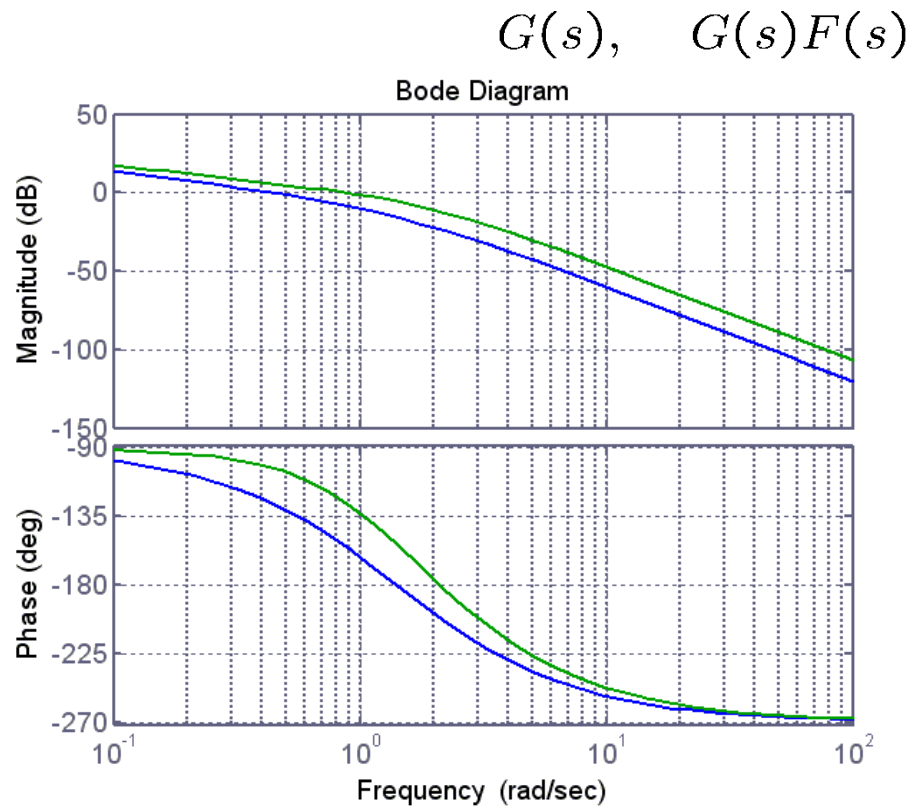


Exempel: Välj en PD-länk

1. $\varphi_m = 53^\circ$ vid $\omega_c = 0.45$ rad/s. $\varphi_m = 23^\circ$ vid $\omega_c = 2 \cdot 0.45 = 0.9$ rad/s. Öka fasen med $30^\circ \Rightarrow \beta = 0.35$
2. $0.9 = \omega_c = \omega_{\max} = 1/\tau_D \beta^{0.5} \Rightarrow \tau_D = 1.88$
3. $1 = |G(i\omega_c)F_{PD}(i\omega_c)|, \omega_c = 0.9$ rad/s $\Rightarrow K = 1.56$

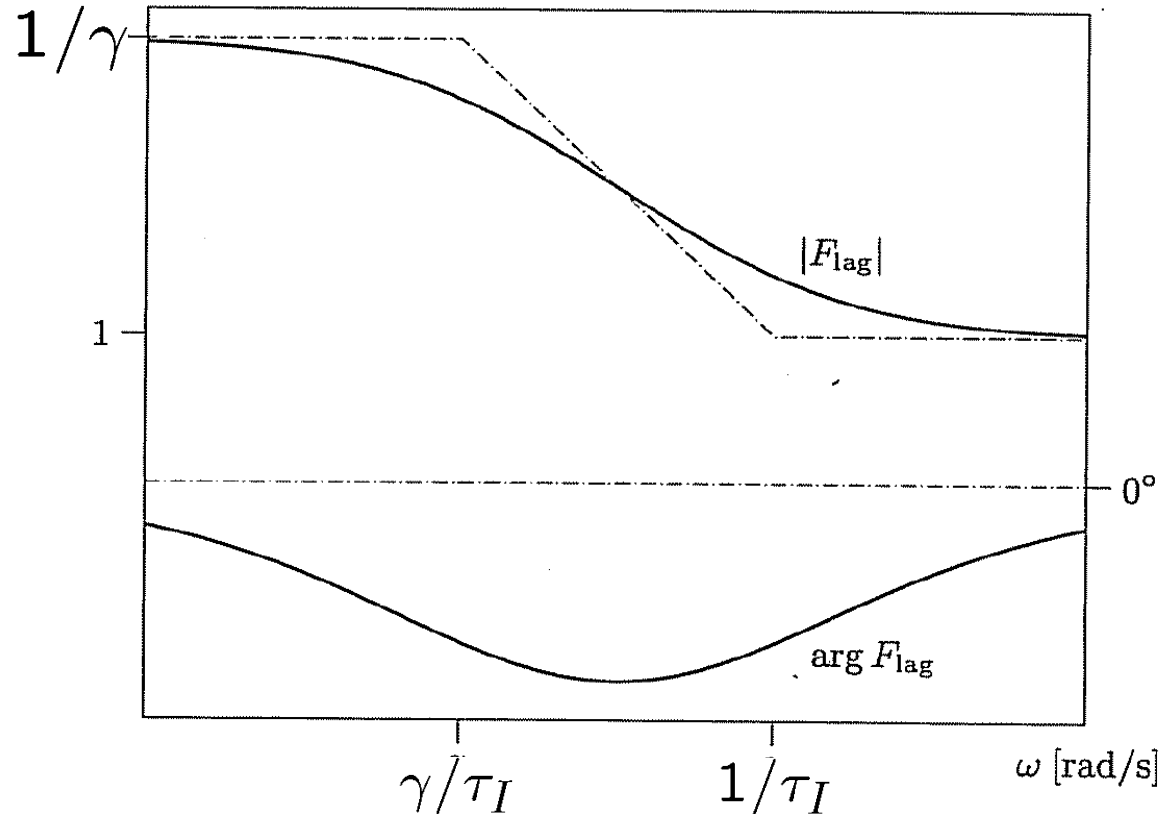
$$F(s) = F_{PD}(s) = 1.56 \frac{1.88s + 1}{0.66s + 1}$$

Exempel: Validering



III. Kompensering med PI-länk

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



- **Fördel:** Ger stor lågfrekvent förstärkning. Minskar statistiskt 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°)

Icke-minfassystem

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

$$\phi = \text{lutning} \cdot 90^\circ$$

$$\text{lutning} = \frac{d \log |G(i\omega)|}{d \log \omega}$$

- *Icke-minimum fas system*

$$\phi < \text{lutning} \cdot 90^\circ$$

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

Betydelse av nollställen för stegsvar

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

