EL1000/1120/1110 Reglerteknik AK

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

Kursinfo: Lab 2

- Lab 2 betydligt mer krävande än Lab 1. Noggranna förberedelser nödvändiga
- Anmäl dig på samma sätt som till Lab 1. Sista anmälningsdag 27 november

1. Gör förberedelseuppgifter i labpek
2. Gå in på Bilda och testa så du kan lösa övningsskrivningarna
   - För att få göra Lab 2 krävs att du klarar minst 4 av 5 slumpade frågor från övningsskrivningarna (på c:a 5 minuter, utan hjälpmedel)

Kursinfo: Lab 3

- Anmälningssystemet är aktiverat

- Denna gång använder vi **KTH Bilda** (alltså <u>inte</u> samma anmälningssystem som till Lab 1-2)

- Får du ingen anmodan om att anmäla dig via mail? Då är du inte kursanmäld! Kontakta Hanna (hanna.holmqvist@ee.kth.se)

- **<u>Denna lab ska redovisas i par! Se till så du anmäler dig till samma tillfälle som din labpartner.</u>**
- Ingen partner för Lab 3? Använd kurshemsidan på KTH Social för att hittar partner!

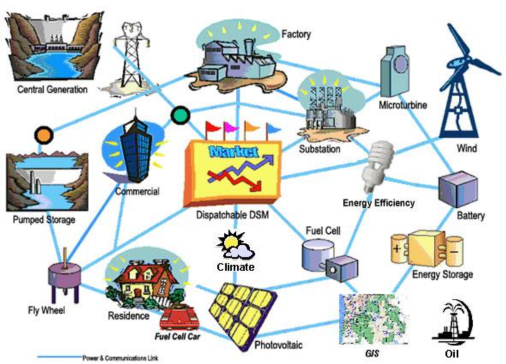
SURF-student på Caltech?

KTH Elektro- och systemteknik

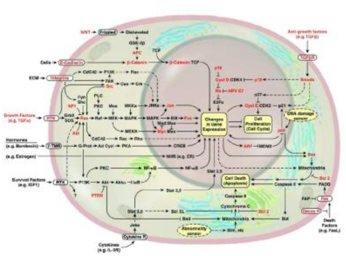
Summer
Undergraduate
Research
Fellowships

- ✓ 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 2013.

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 23 november 2012. Intresserad eller vill veta mer?

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

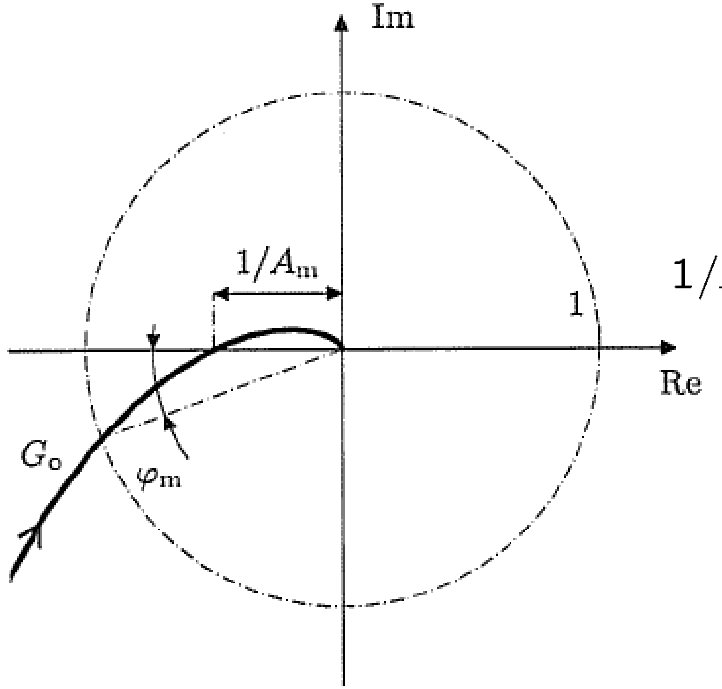
Innehåll

- Stabilitetsmarginaler, specifikation av prestanda i tids- och frekvensplanet (repetition)
- Kompensering (forts.)

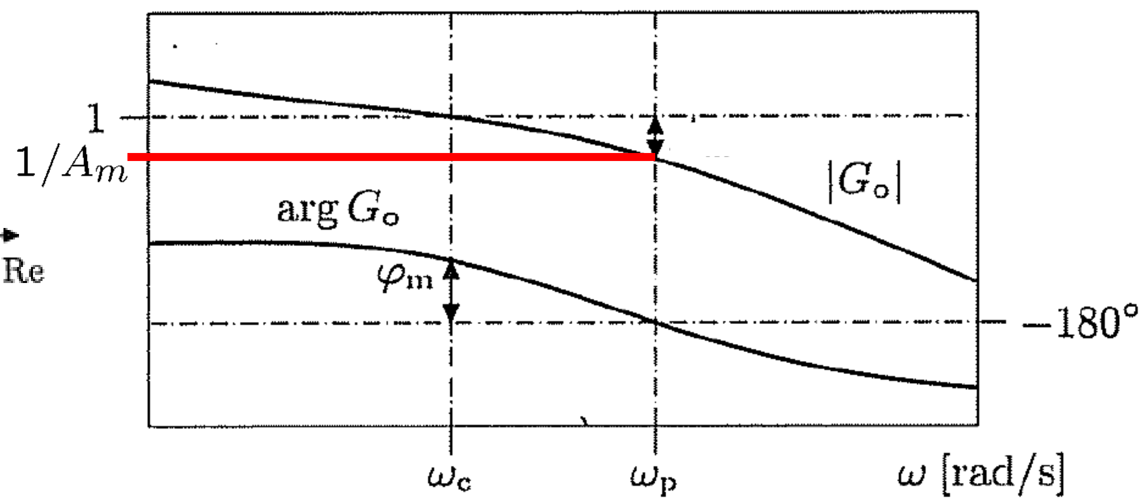
- Icke-minfassystem
- Robusthet – Stabilitet trots modellfel
- Känslighet – Reglerprestanda trots störningar

Amplitud- och fasmarginal

Nyquistdiagram



Bodediagram



Fas-skärfrekvens ω_p och amplitudmarginal A_m

Skärfrekvens ω_c och fasmarginal φ_m

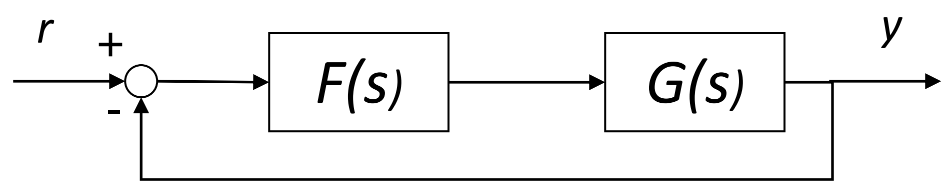
Mäter avstånd till instabilitetspunkten (-1)

Specifikationer för slutna systemet

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

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

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

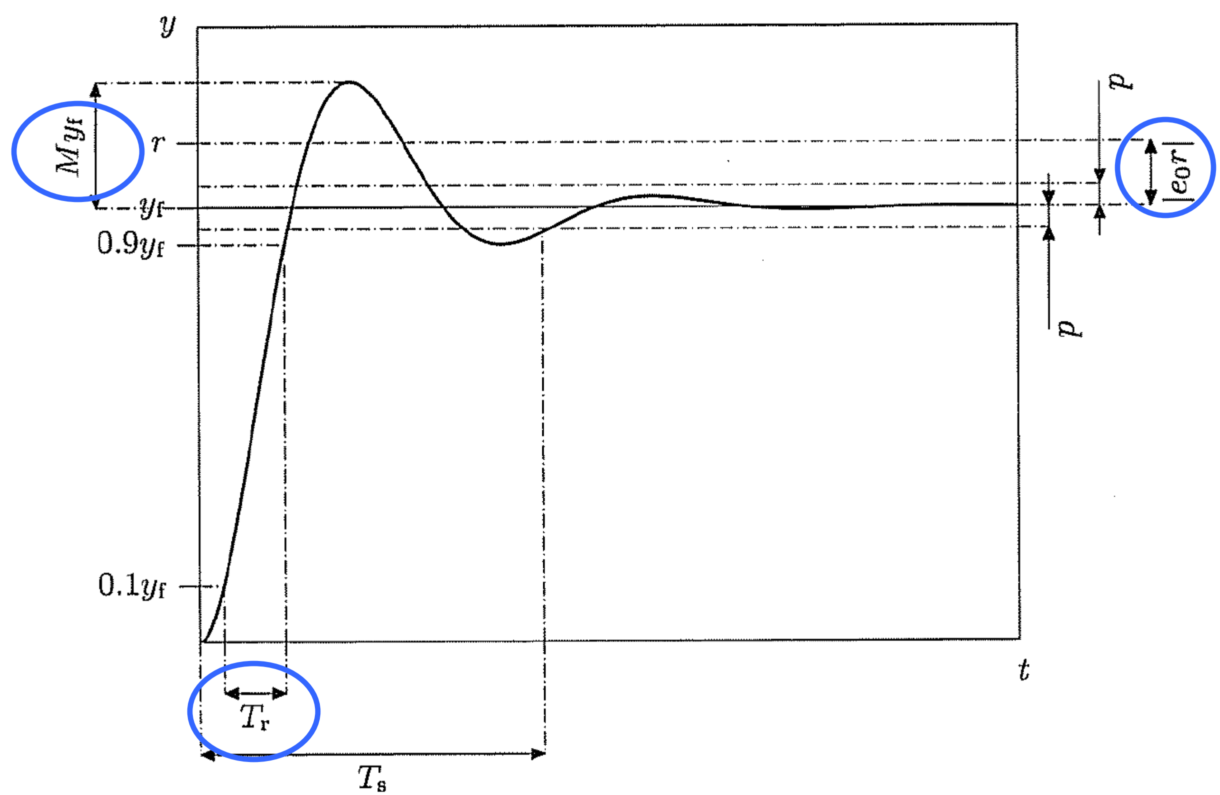


I tidsplanet

Snabbhet: T_r

Dämpning: M

Statiskt fel: e_0

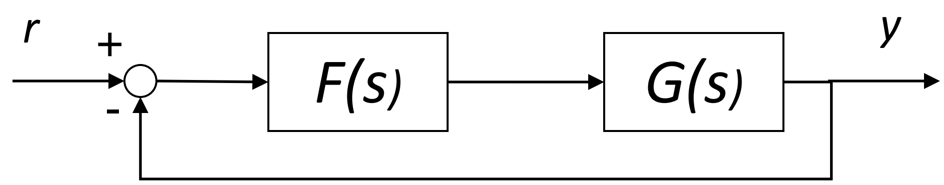


Specifikationer för slutna systemet

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

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

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

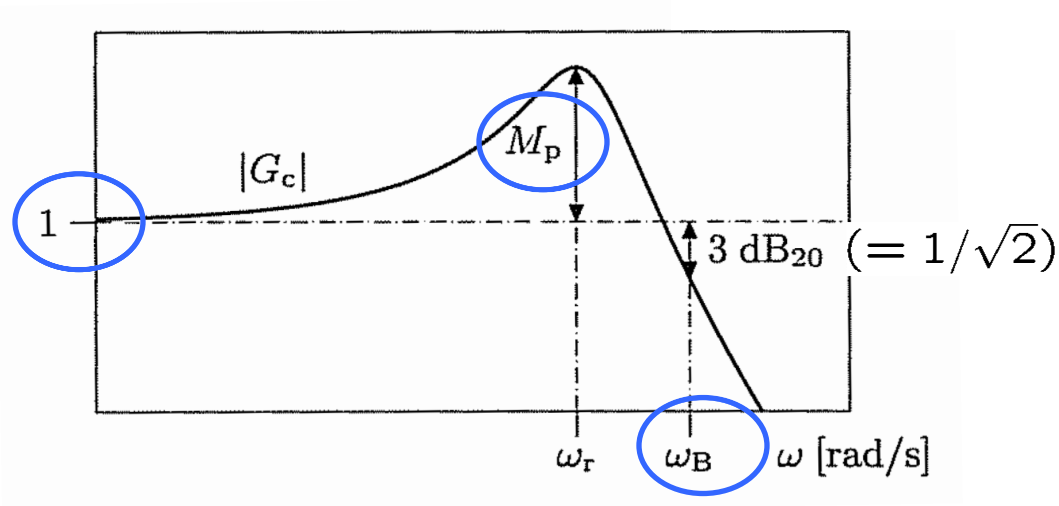


I frekvensplanet

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: $e_0 = 1 - G_c(0)$

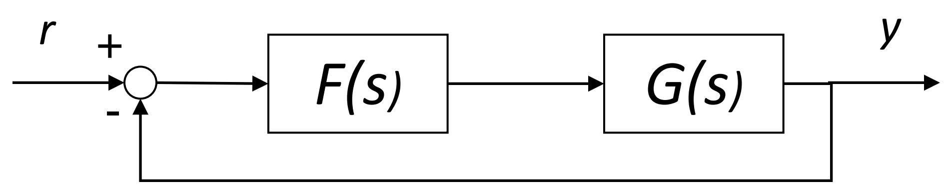


Specifikationer för öppna systemet

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

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

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

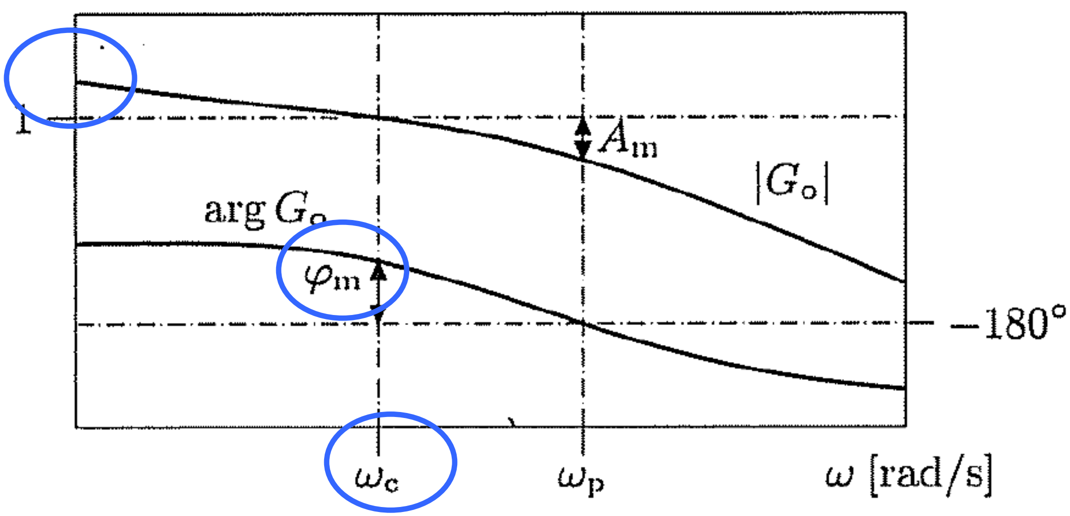


I frekvensplanet

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

fasmarginal φ_m $(M_p > 1/\varphi_m \text{ [rad]})$

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



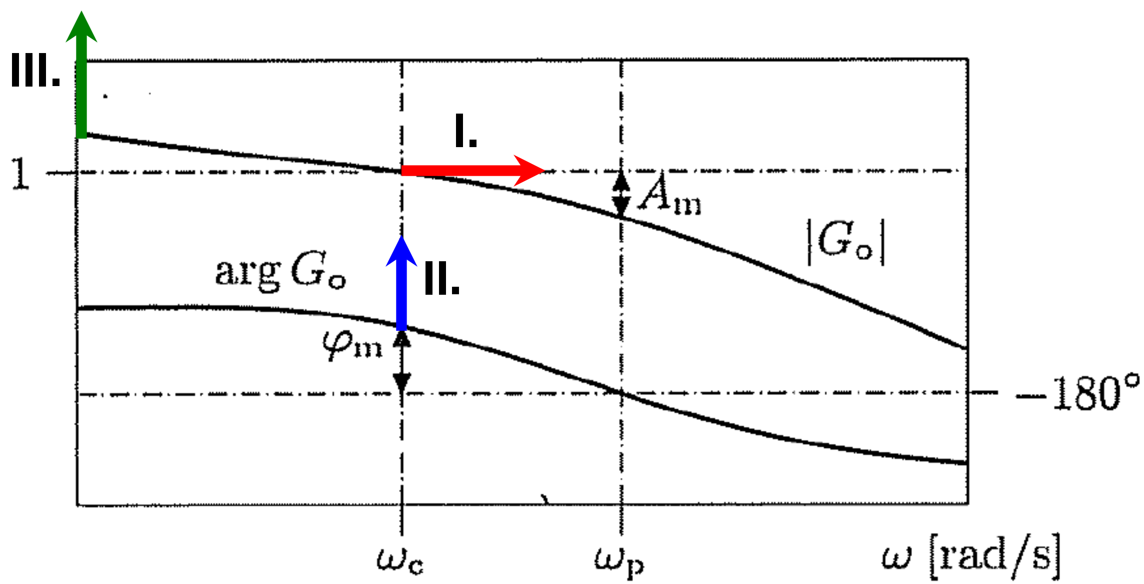
Specifikationer för kompensering av G_o

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

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

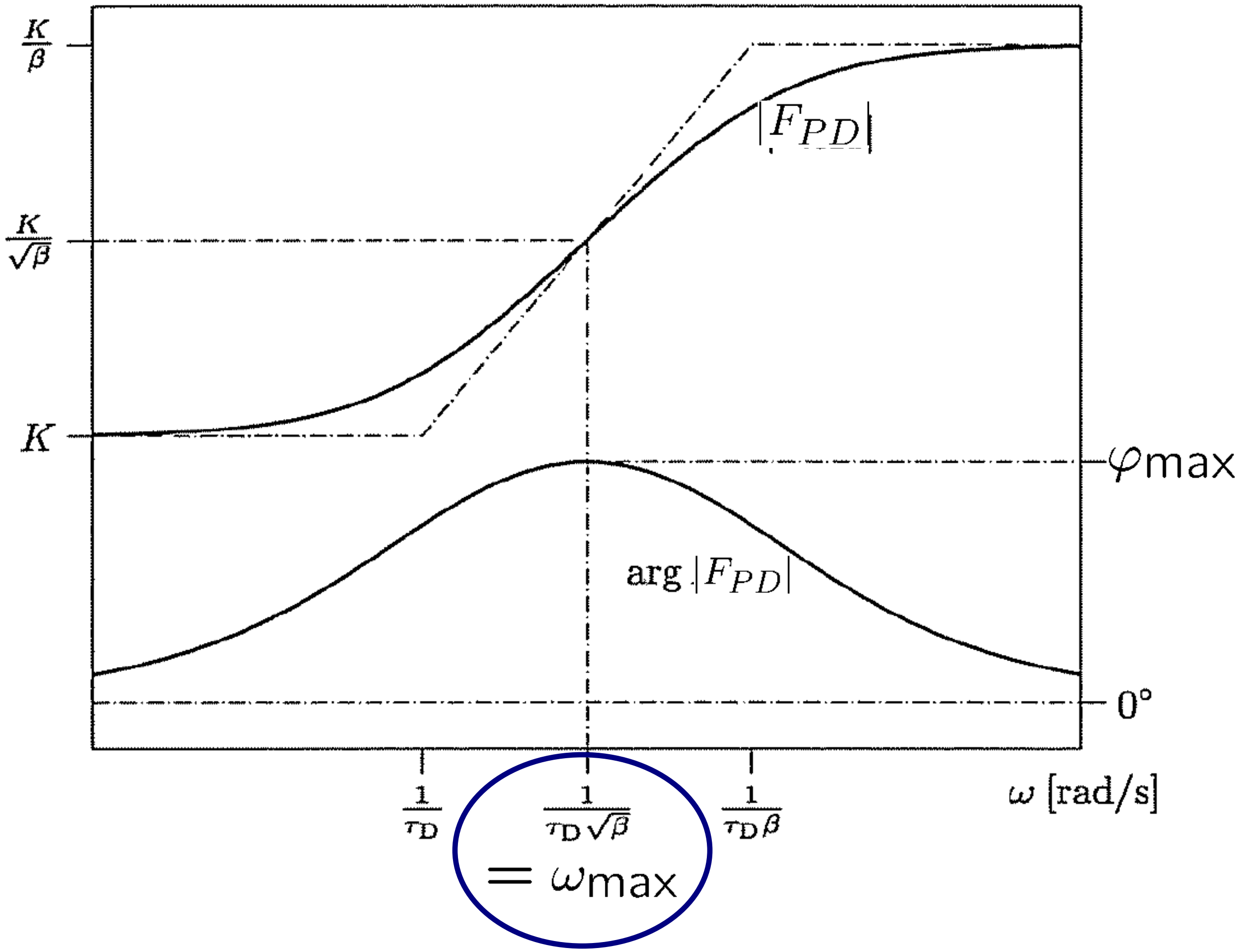
Idé: använd $F(s)$ för att att forma kretsförstärkningen $G_o(i\omega) = G(i\omega)F(i\omega)$ så att den uppfyller krav på :

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

OBS! *N=1* ger PID-regulator

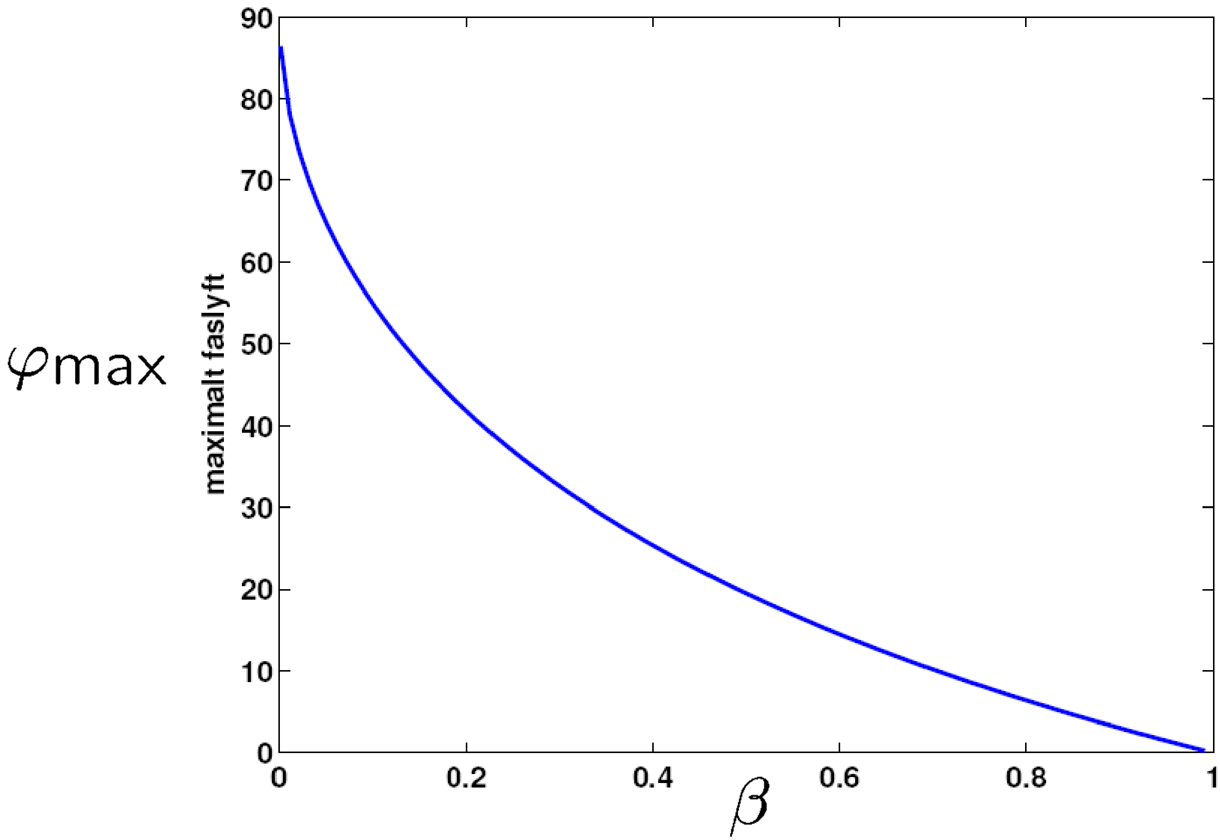
I+II. Kompensering med PD-länk

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



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

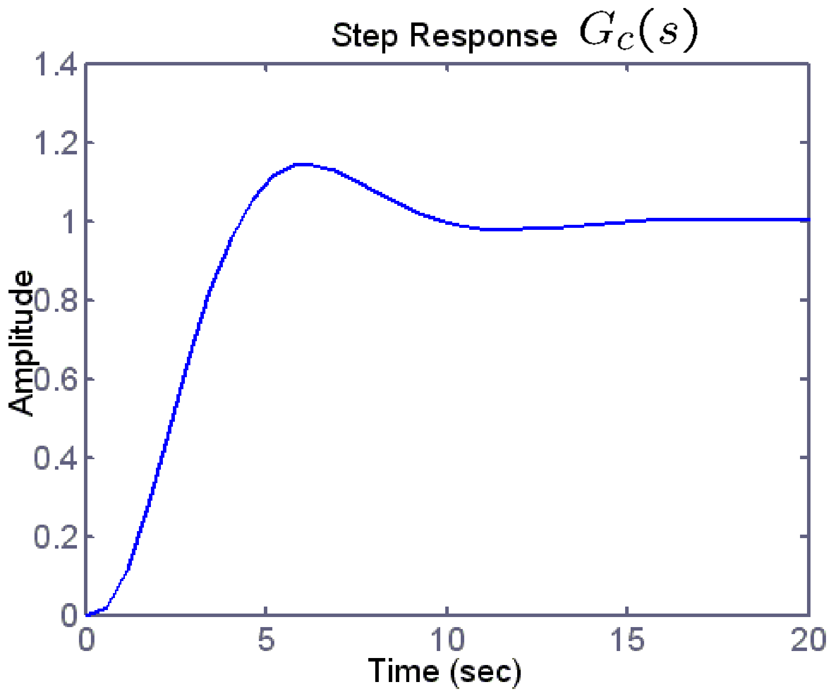
Maximalt faslyft beror på β

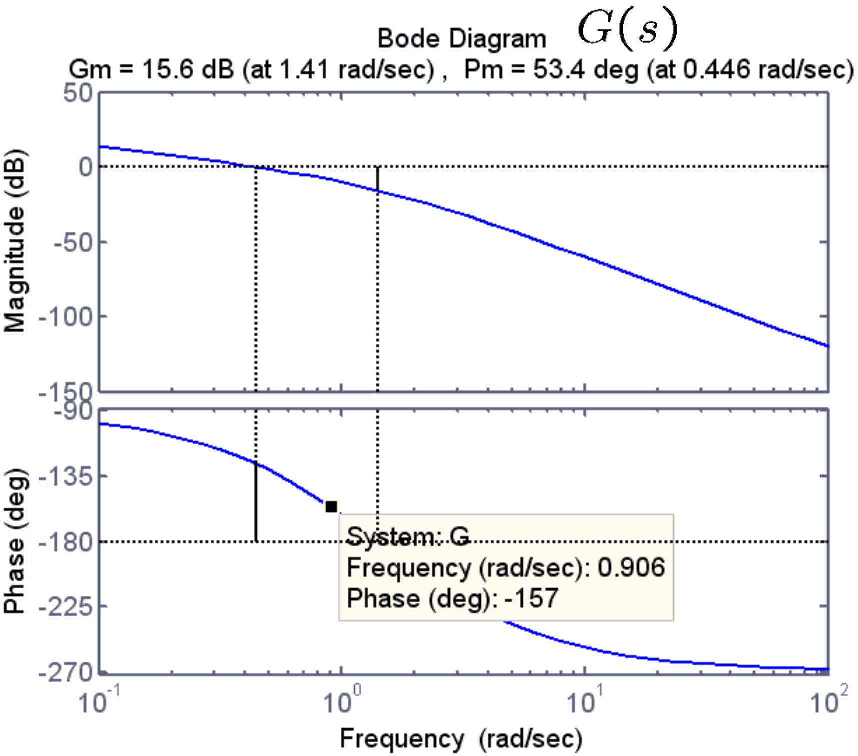


1. Bestäm β så att fasökningen blir tillräckligt stor
2. Bestäm τ_D så att $\omega_c = \omega_{\text{max}} (= 1/\tau_D\sqrt{\beta})$
3. Bestäm K så att $|F(i\omega_c)G(i\omega_c)| = 1$

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

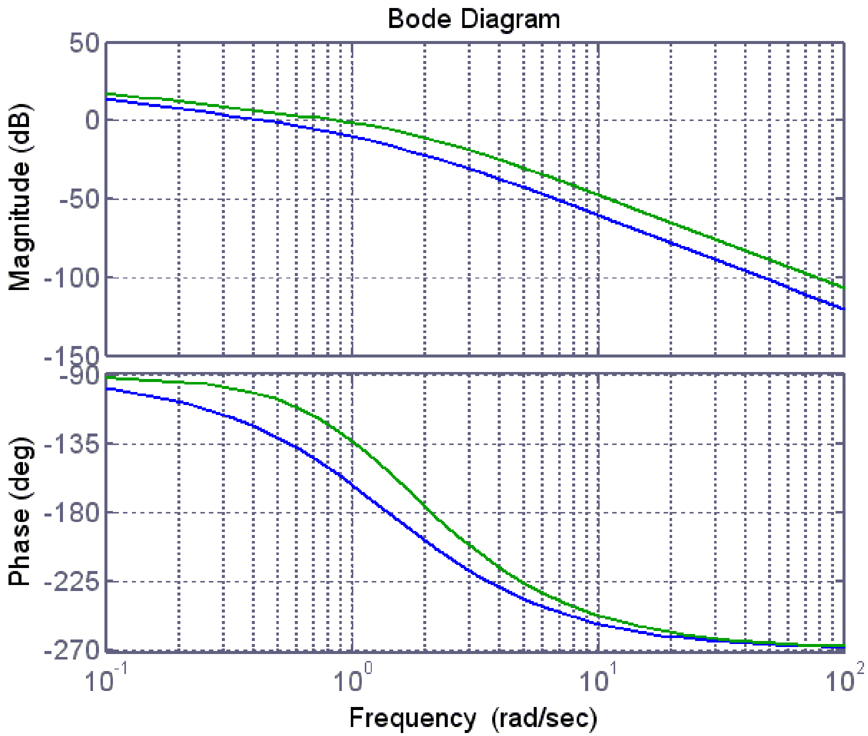
Att välj en PD-länk

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

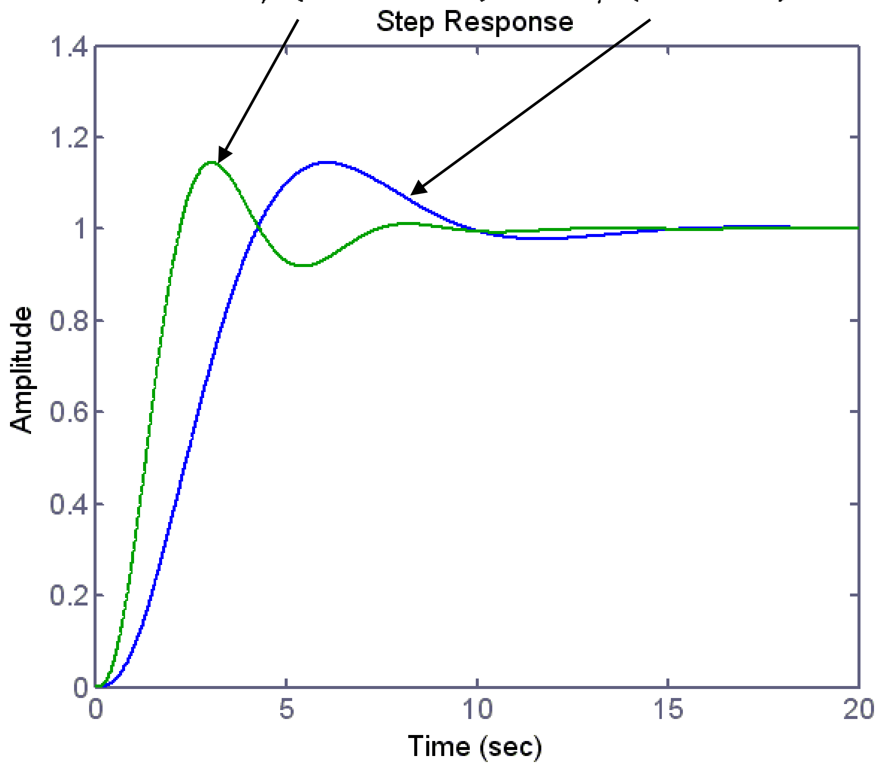
$$\boxed{F(s) = F_{PD}(s) = 1.56\frac{1.88s+1}{0.66s+1}}$$

Exempel: Validering

$G(s), \quad G(s)F(s)$

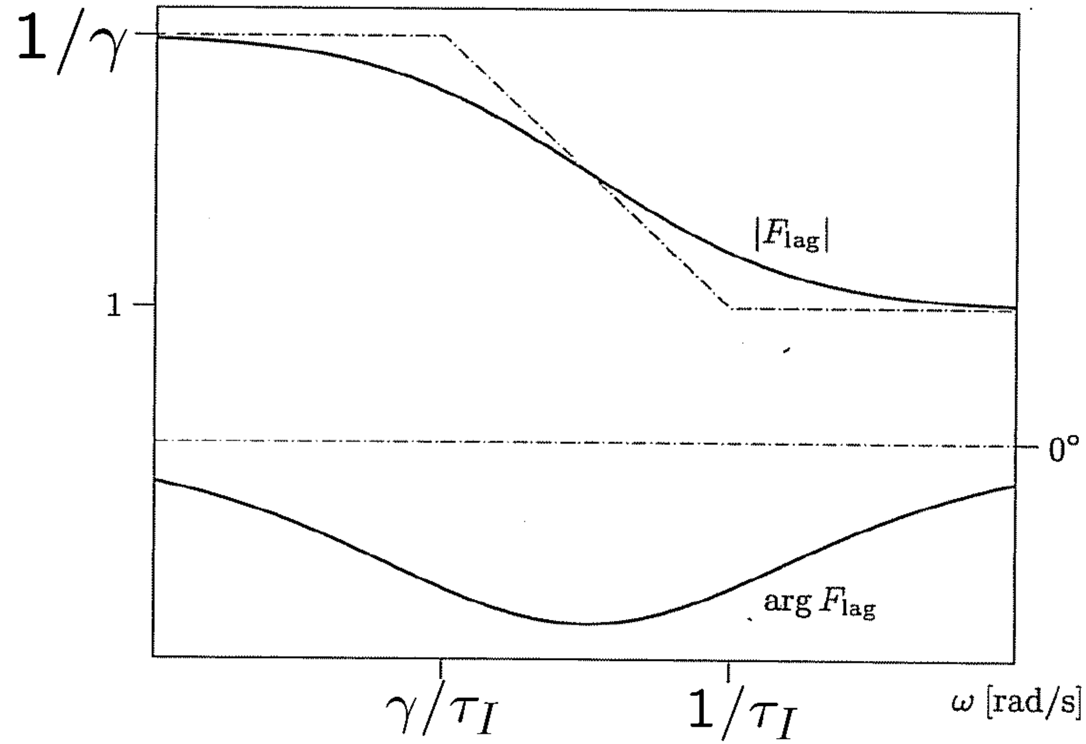


$FG/(1+FG) \quad G/(1+G)$



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

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

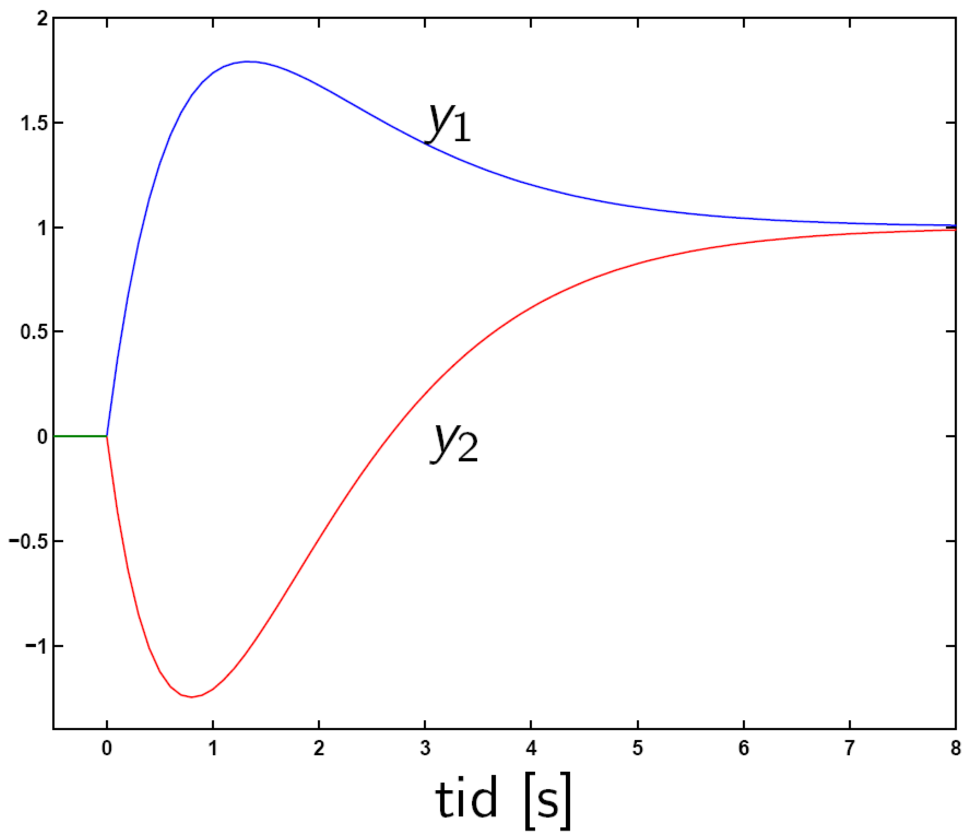
- *Icke-minimum fas system*

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

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

Betydelse av nollställen för stegsvar

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



Betydelse av nollställen för stegsvar

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

Begynnelsevärdesteoremet ger:

$$\lim_{t \to 0} \dot{y}_1(t) = \lim_{s \to \infty} s \cdot s \cdot \frac{4s+1}{(s+1)^2} \cdot \frac{1}{s} = 4$$

$$\lim_{t \to 0} \dot{y}_2(t) = \lim_{s \to \infty} s \cdot s \cdot \frac{-4s+1}{(s+1)^2} \cdot \frac{1}{s} = -4$$

Nollställe i högra halvplanet (HHP) $\Rightarrow$ Stegsvar går initialt åt ”fel” håll