KTH ROYAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY

EL1000/1120 Reglerteknik AK

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

Kursinfo: Lab2

- Lab2 betydligt mer krävande än Lab1. Noggranna förberedelser **nödvändiga**

1. Gör förberedelseuppgifter i labpek

2. För att få göra Lab2 krävs att du klarar minst 4 av 5 frågor på en övningsskrivning (på c:a 5 minuter, utan hjälpmedel)
   - **Gå in på Bilda och öva!**

Kursinfo: Lab3

- Anmälningssystemet till Lab3 under bilda.kth.se aktiveras efter föreläsningen

- **Denna labb ska redovisas i par! Se till så du anmäler dig till samma tillfälle som din labbpartner**

- Ingen partner för Lab3? Använd kurshemsidan på KTH Social för att hittar partner!

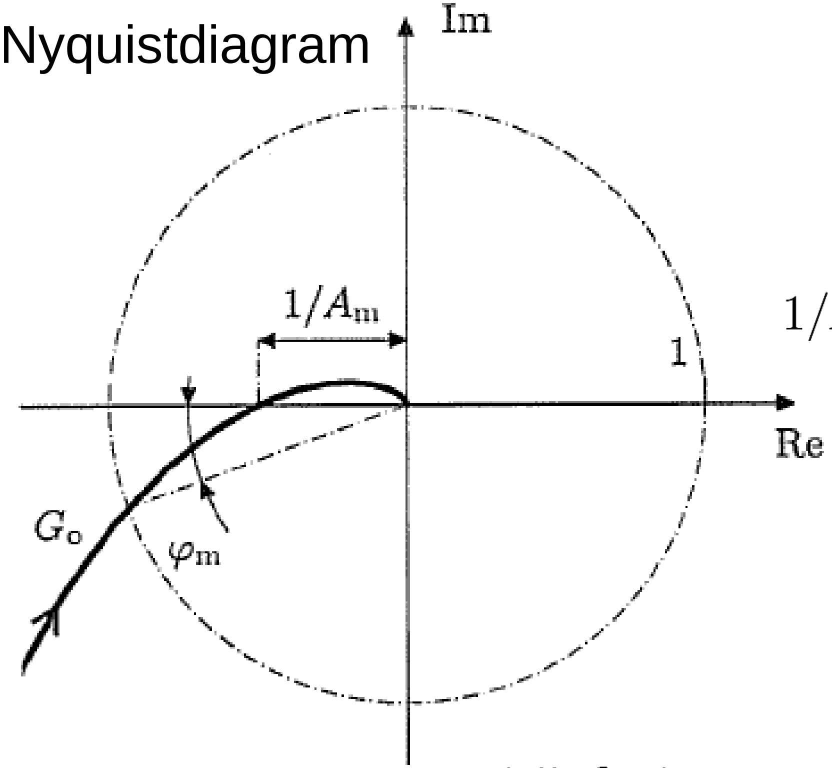
- **Det är lämpligt att börja jobba med de första delarna av Lab3 nu**

Dagens program

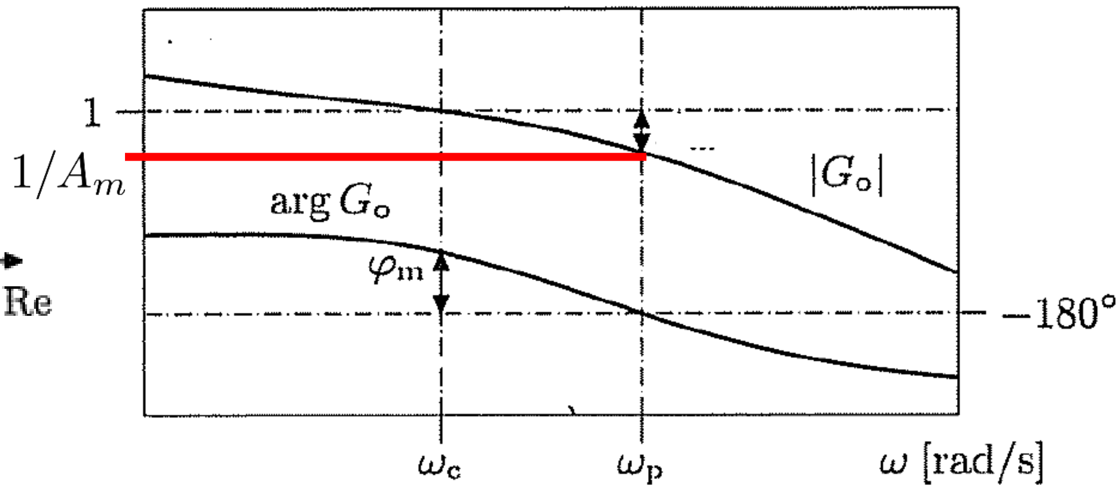
- Stabilitetsmarginaler, specifikation av prestanda i tids- och frekvensplanet (repetition, slides)
- Kompensering (forts., slides och tavlan)
- Robusthet – Stabilitet trots modellfel (tavlan)
- Känslighet – Reglerprestanda trots störningar (tavlan)
- Tidsfördröjning och icke-minfassystem (självstudier, G&L s.116-119)

Amplitud- och fasmarginal (öppna systemet)

Nyquistdiagram



Bodediagram

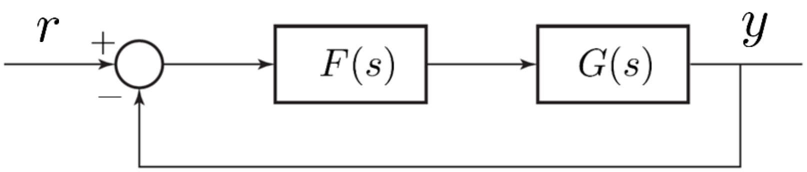


Fas-skärfrekvens ω_p och amplitudmarginal A_m

Skärfrekvens ω_c och fasmarginal φ_m

Mäter avstånd till instabilitetspunkten (-1)

Specifikationer för slutna systemet (G_c)



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

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

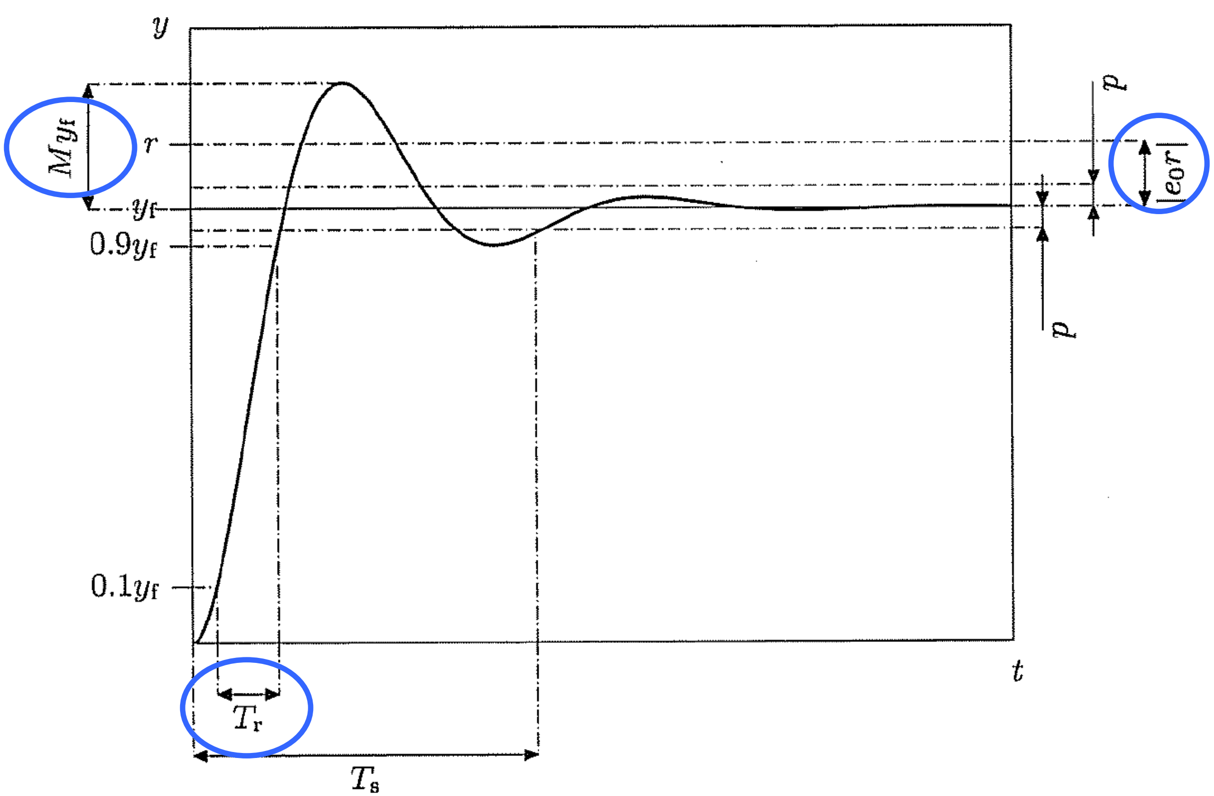
$$y(t) = \mathcal{L}^{-1}\left(G_c(s)\frac{1}{s}\right)$$

I tidsplanet:

Snabbhet T_r

Dämpning M

Statiskt fel e_0

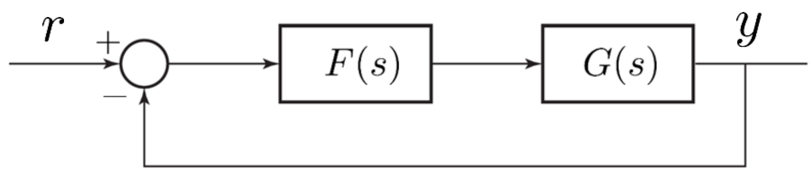


Specifikationer för slutna systemet (G_c)

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

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

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



I frekvensplanet

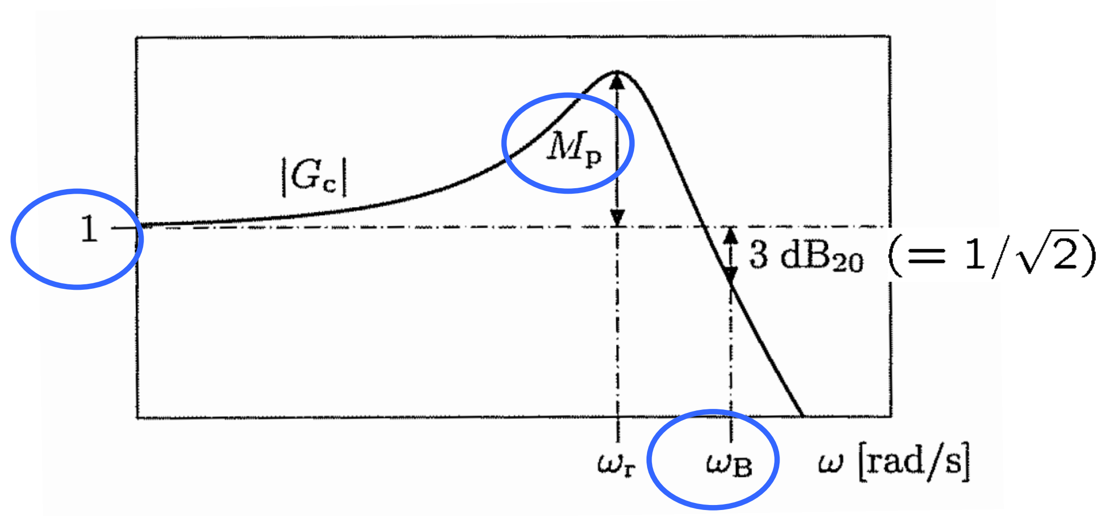
Snabbhet: Bandbredd ω_B

$(|G_c(i\omega)| \approx 1,\ \omega < \omega_B)$

Dämpning: Resonanstopp M_p

$(\max_{\omega} |G_c(i\omega)|)$

Statiskt fel: $e_0 = 1 - G_c(0)$

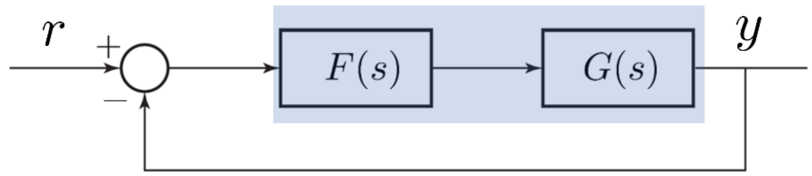


Motsvarande specifikationer för öppna systemet (G_o)

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

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

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



I frekvensplanet

Snabbhet: Skärfrekvens ω_c

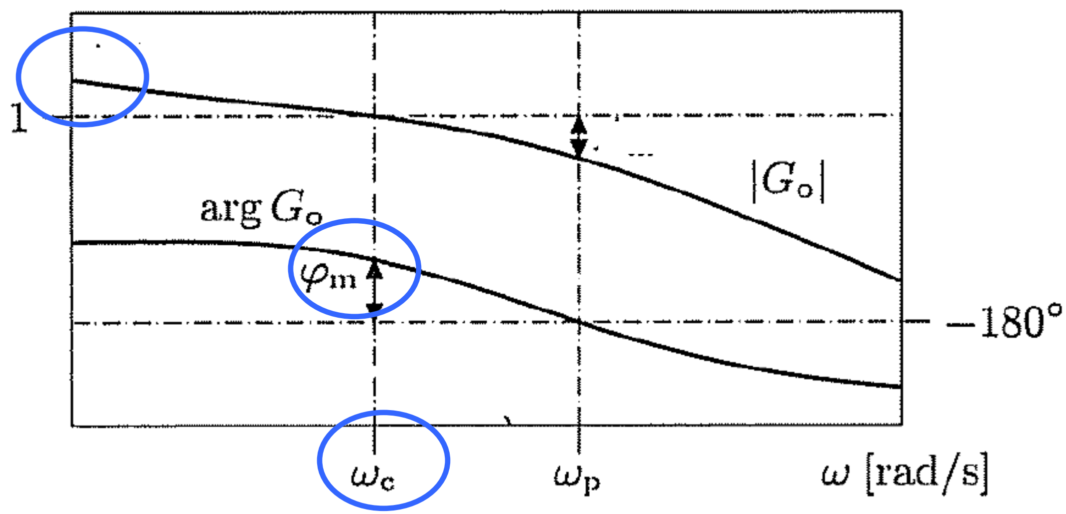
$(\omega_c \approx \omega_B)$

Dämpning: Fasmarginal φ_m

$(M_p \geq 1/\varphi_m \; [1/\mathrm{rad}])$

Statiskt förstärkning: $G_o(0)$

$$\left(e_0 = \frac{1}{|1 + G_o(0)|}\right)$$



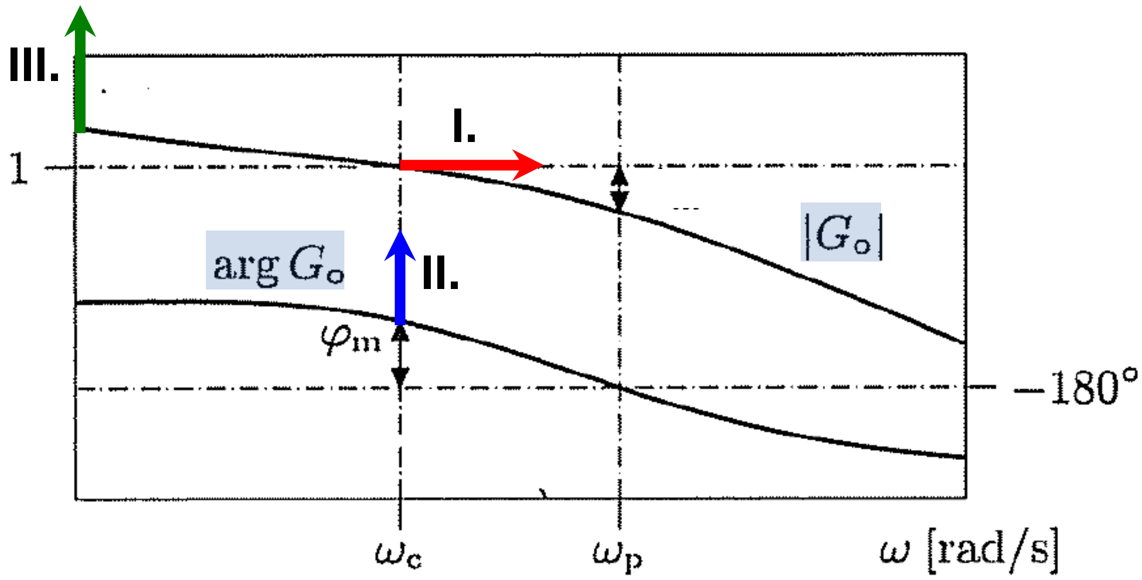
Specifikationer för kompensering av G_o

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) $e_0 = 1 - G_c(0) = \dfrac{1}{1 + G_o(0)}$



Dagens program

- Stabilitetsmarginaler, specifikation av prestanda i tids- och frekvensplanet (repetition, slides)
- **Kompensering (forts., slides och tavlan)**
- Robusthet – Stabilitet trots modellfel (tavlan)
- Känslighet – Reglerprestanda trots störningar (tavlan)
- Tidsfördröjning och icke-minfassystem (självstudier, G&L s.116-119)

Kompensering

Typisk kompenseringslänk:

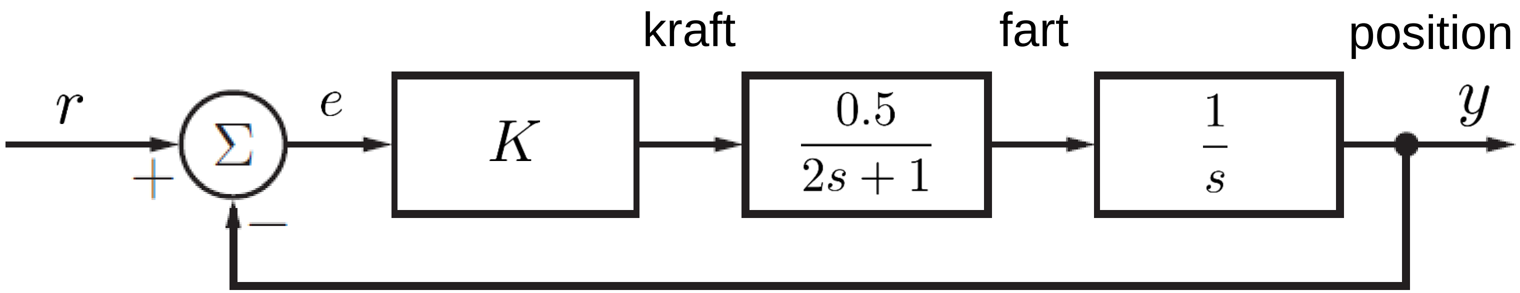
$$F(s) = \underbrace{K}_{\text{fixar } \omega_c} \underbrace{\left(\frac{\tau_D s + 1}{\beta \tau_D s + 1}\right)^N}_{\text{fixar } \varphi_m} \underbrace{\frac{\tau_I s + 1}{\tau_I s + \gamma}}_{\text{fixar } G_o(0)}$$

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

I. Skärfrekvens ω_c (Ex. förra gången, bil_position_ex1.m)
II. Fasmarginal φ_m (Ex. denna gången, bil_position_ex2.m)
III. Statiskt förstärkning $G_o(0)$ (Se övningar)

OBS! $N = 1,\ \beta = 0,\ \gamma = 0$ ger PID-regulator

Exempel: Positionsreglering av bil (Fall 1-2, förra gången, bil_position_ex1.m)



Fall 1: $K = 1$ ger $T_r = 3.28$ s ($\omega_c = 0.393$ rad/s)

Vi vill ha ett dubbelt så snabbt slutet system, så dubbla ω_c:

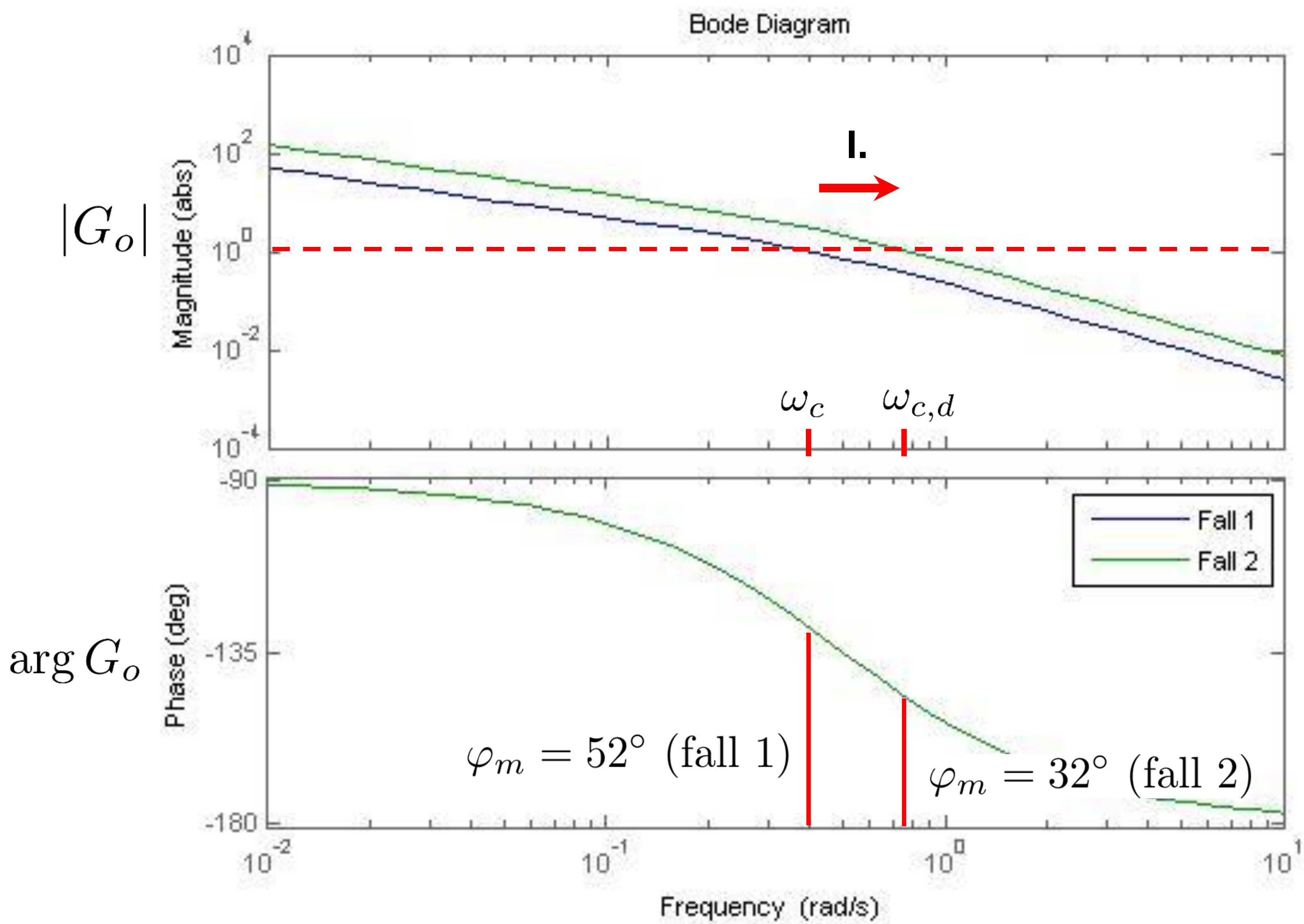
$\omega_{c,d} = 2 \cdot \omega_c \approx 0.79$ rad/s (”desired”)

Görs enklast med en P-regulator!

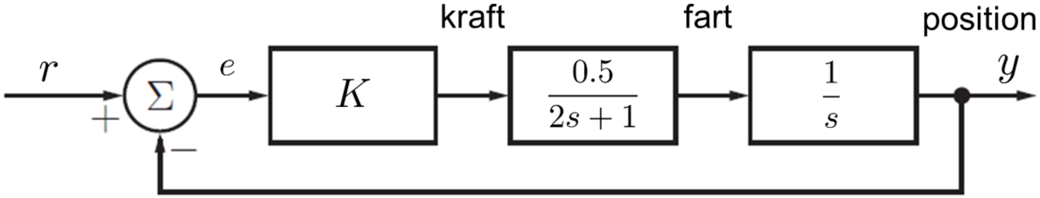
Lös $\left| K \dfrac{0.5}{2i\omega_{c,d} + 1} \dfrac{1}{i\omega_{c,d}} \right| = 1$

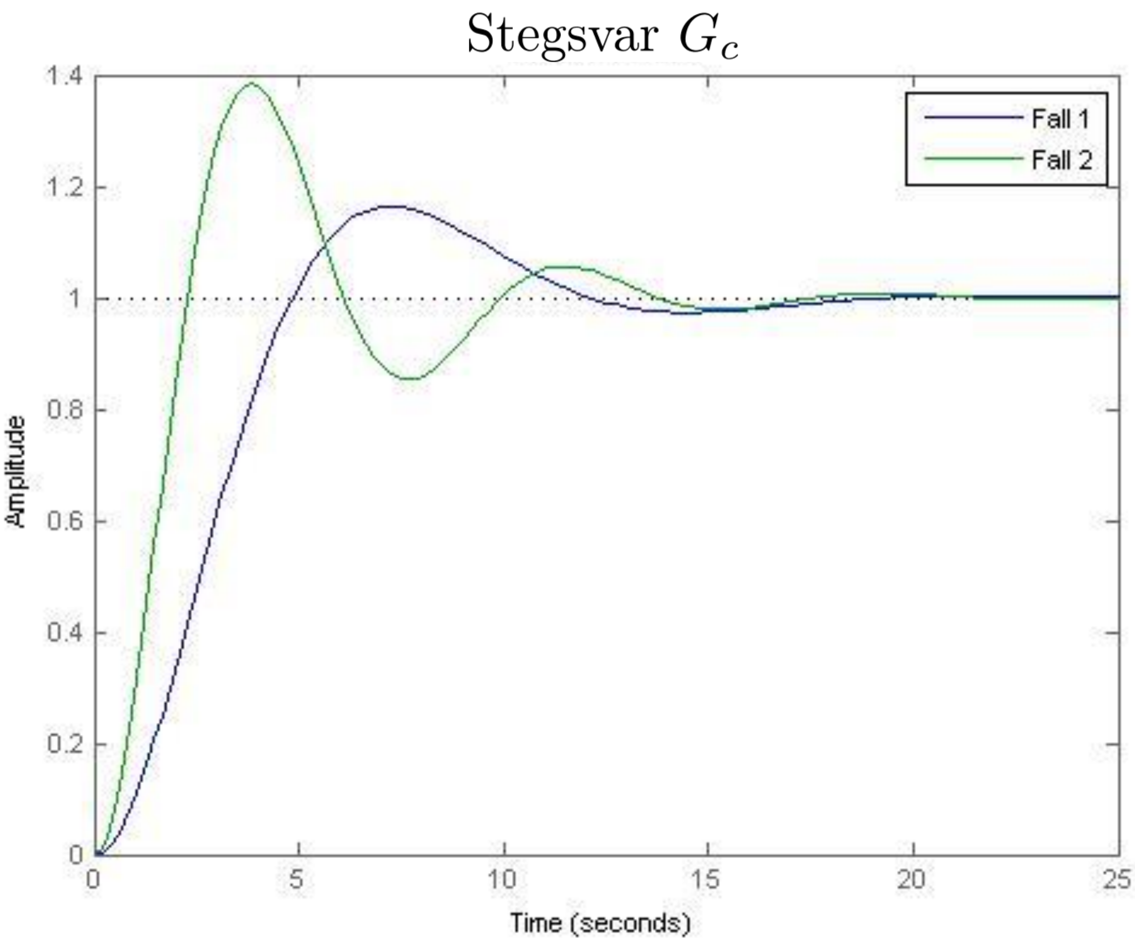
Fall 2: $K = 2.94$ ger $T_r = 1.53$ s ($\omega_c = 0.79$ rad/s)

Exempel: Positionsreglering av bil (Fall 1-2, förra gången, bil_position_ex1.m)

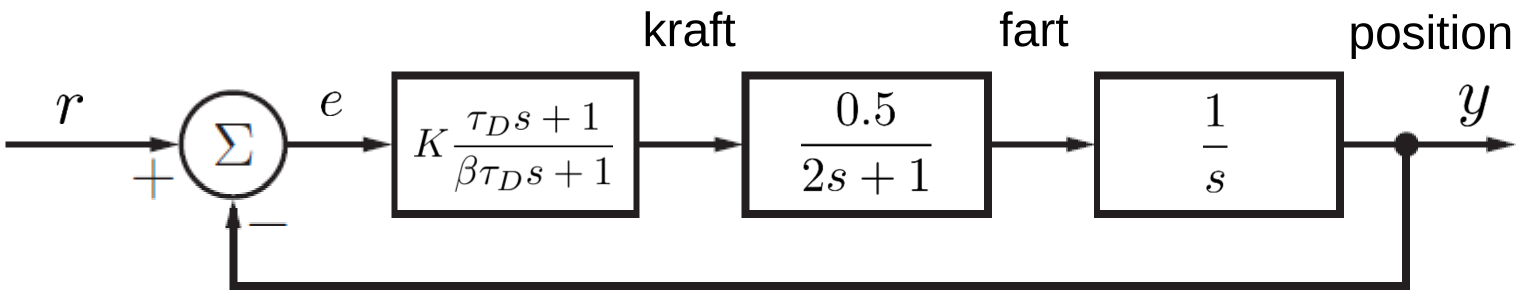


Exempel: Positionsreglering av bil
(Fall 1-2, förra gången, bil_position_ex1.m)





Exempel: Positionsreglering av bil (Fall 3, bil_position_ex2.m)



Snabbhet i Fall 2 bra, och dämpning i Fall 1 bra. Hur få båda samtidigt? Görs enklast med lead-länk!

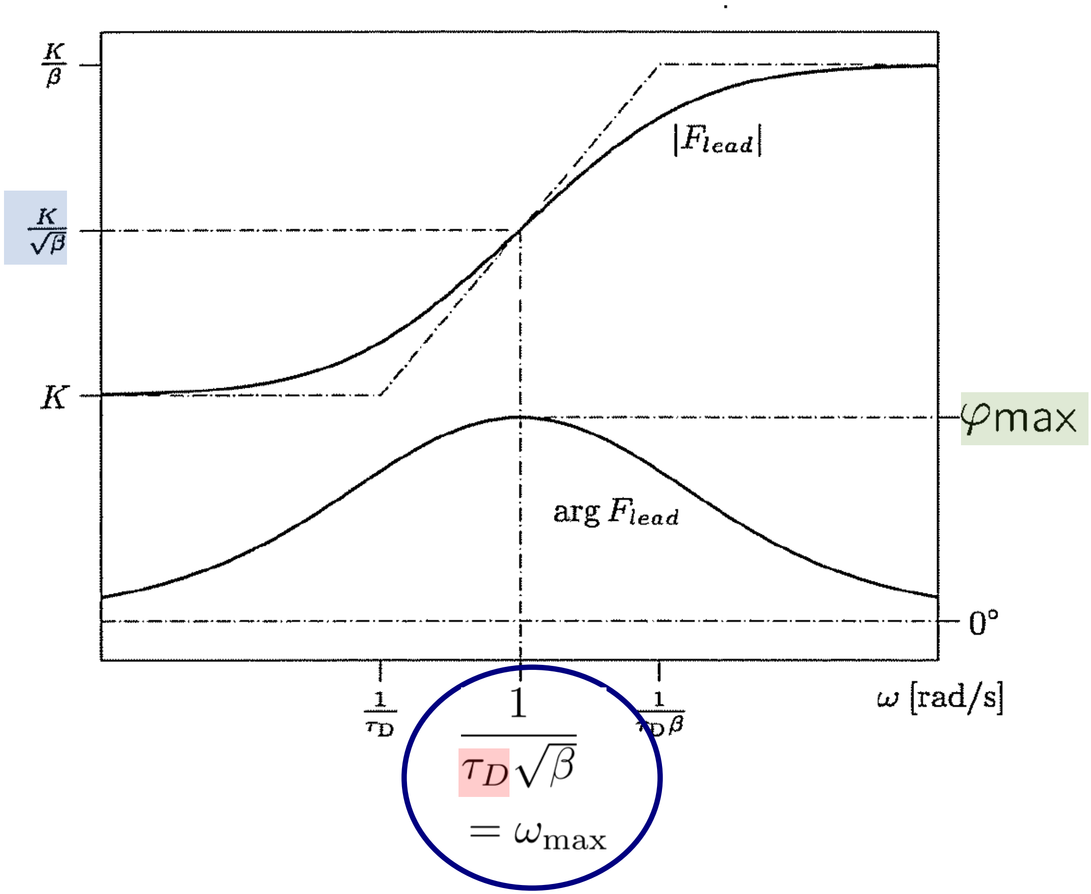
Fall 3: Vi vill ha $\omega_{c,d} = 0.79$ rad/s och $\varphi_m = 52°$. Öka fasen med $52° - 32° = 20°$ vid frekvensen $\omega_{c,d}$ med

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

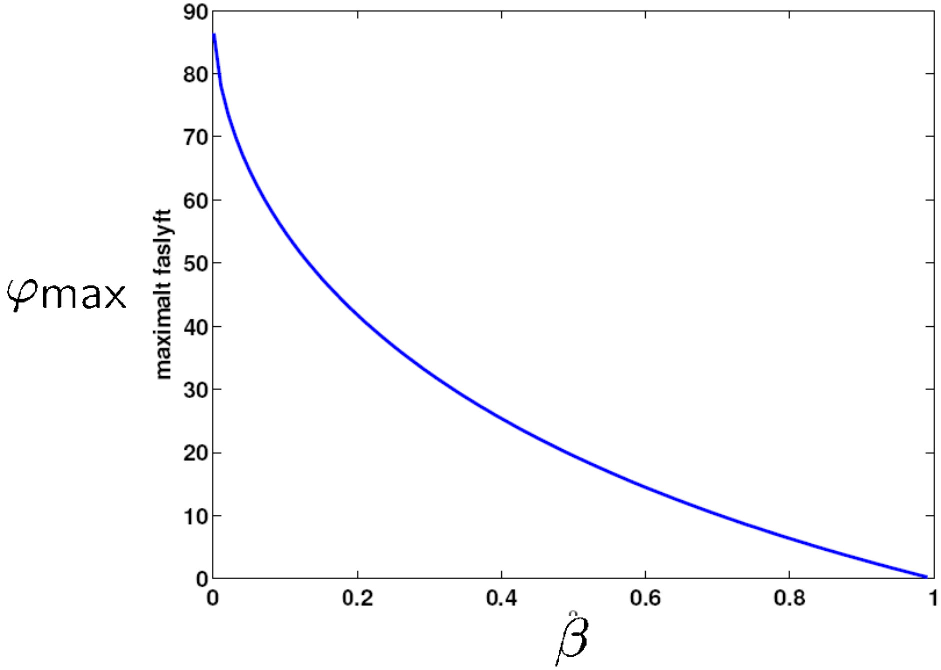
Kompensering med lead-länk (PD-länk) (G&L fig. 5.14)

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

- **Fördel:** positivt fasbidrag (faslyft)
- **Nackdel:** Stor förstärkning vid höga frekvenser

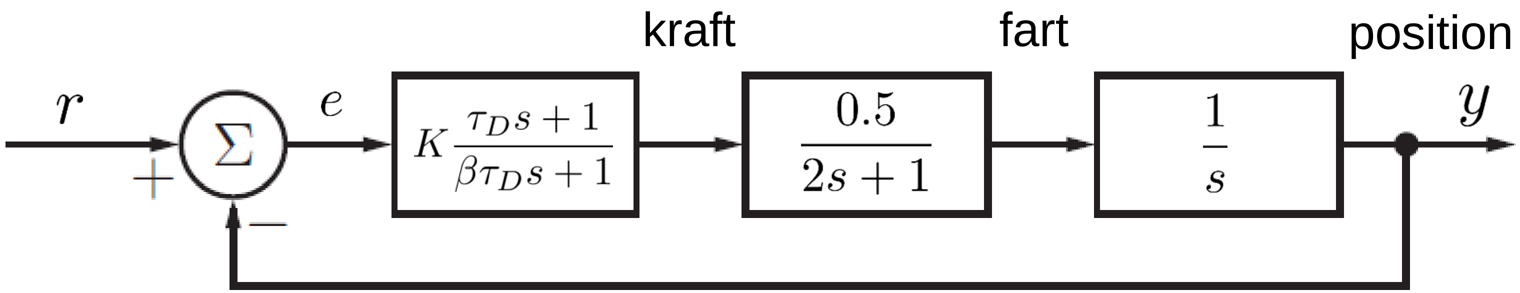


Maximalt faslyft beror på β (G&L fig. 5.13)



1. Bestäm β så att fasökning blir tillräckligt stor
2. Bestäm τ_D så att $\omega_{c,d} = \omega_{\max} = \dfrac{1}{\tau_D\sqrt{\beta}}$
3. Bestäm K så att $|F_{\text{lead}}(i\omega_{c,d})G(i\omega_{c,d})| = 1 \quad \left(|F_{\text{lead}}(i\omega_{\max})| = \dfrac{K}{\sqrt{\beta}}\right)$

Exempel: Positionsreglering av bil (Fall 3, bil_position_ex2.m)



Fall 3:

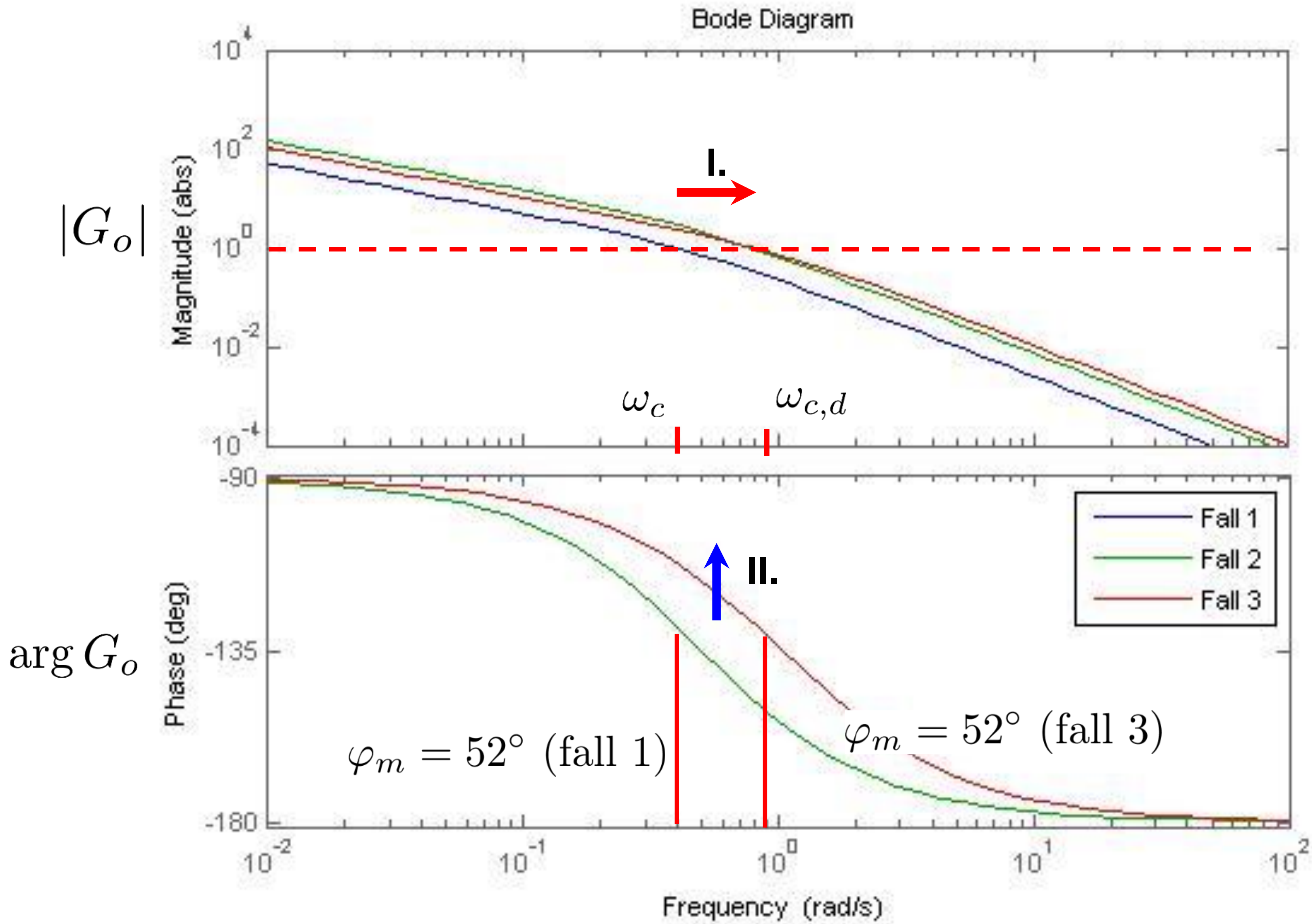
1. Öka fas med 20° $\Rightarrow \beta = 0.49$
2. Bestäm τ_D så att $\omega_{\max} = \omega_{c,d} = 0.79$ rad/s

$$0.79 = \frac{1}{\tau_D\sqrt{\beta}} \Rightarrow \tau_D = 1.81 \text{ s}$$

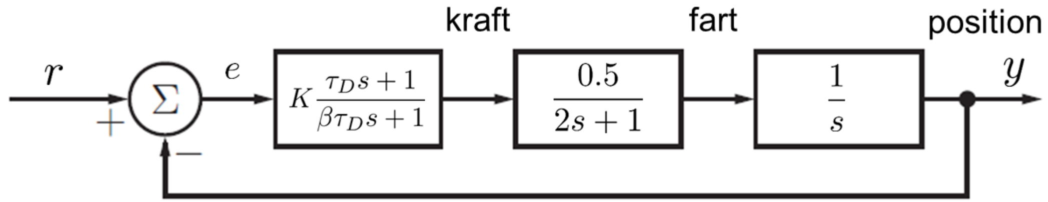
3. Bestäm K så att

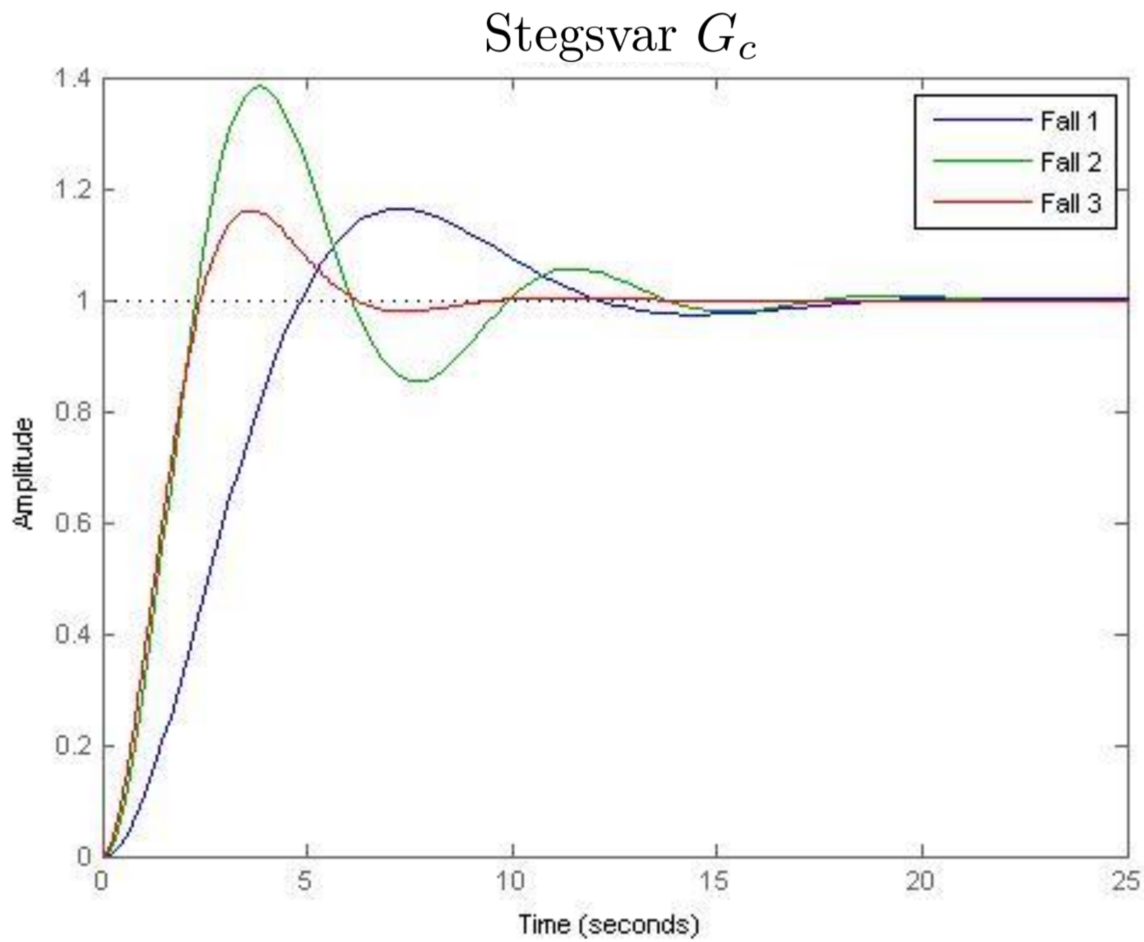
$$1 = |G_o(i\omega_{c,d})| = |F_{\text{lead}}(i\omega_{c,d})| \left| \frac{0.5}{2i\omega_{c,d}+1} \frac{1}{i\omega_{c,d}} \right| = \frac{K}{\sqrt{\beta}} 0.34 \Rightarrow K = 2.06$$

Exempel: Positionsreglering av bil (Fall 3, bil_position_ex2.m)



Exempel: Positionsreglering av bil (Fall 3, bil_position_ex2.m)





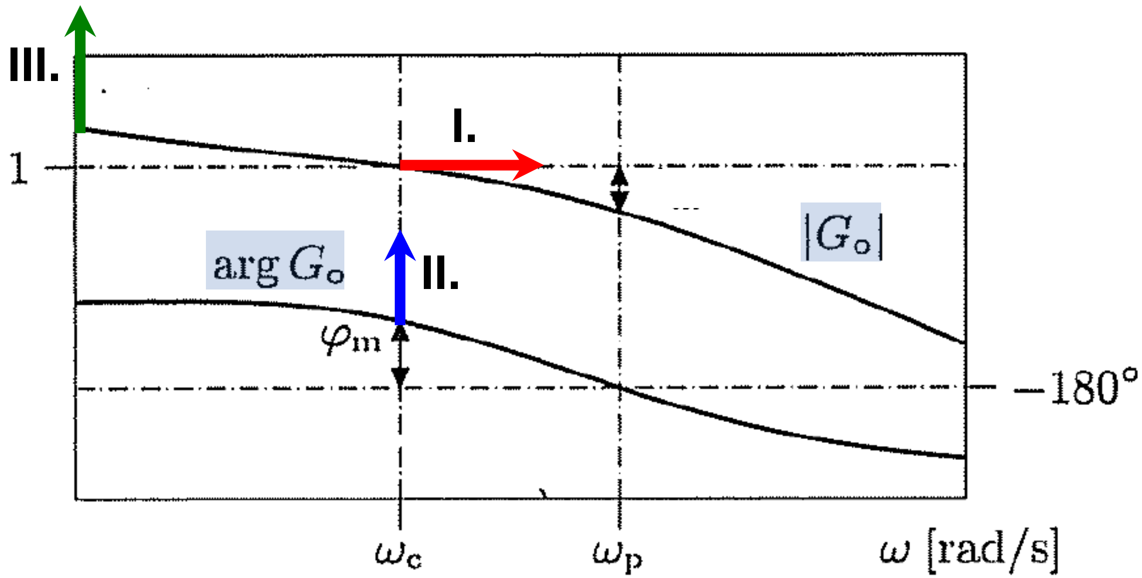
Specifikationer för kompensering av G_o

Krav på:

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

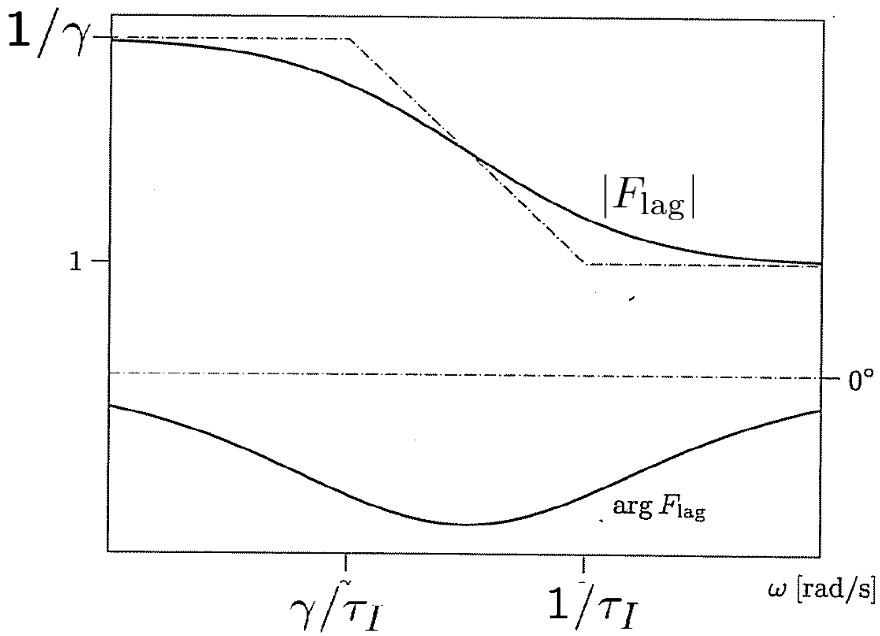
II. Dämpning $M \sim M_p \geq 1/\varphi_m$

III. Statiskt fel (stegsvar) $e_0 = 1 - G_c(0) = \dfrac{1}{1 + G_o(0)}$



III: Kompensering med lag-länk (se övningar)

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



- **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°)

Dagens program

- Stabilitetsmarginaler, specifikation av prestanda i tids- och frekvensplanet (repetition, slides)
- Kompensering (forts., slides och tavlan)
- **Robusthet – Stabilitet trots modellfel (tavlan)**
- Känslighet – Reglerprestanda trots störningar (tavlan)
- Tidsfördröjning och icke-minfassystem (självstudier, G&L s.116-119)

Quiz

(1) Vad testar robusthetskriteriet?

a) Om det verkliga återkopplade systemet är stabilt.
b) Om det modellerade återkopplade systemet är stabilt.
c) Om det verkliga öppna systemet är stabilt.
d) Om det modellerade öppna systemet är stabilt.

Quiz

(2) Vad betyder det att

$$|G_c(i\omega)| > \frac{1}{|\Delta_G(i\omega)|}$$

för det verkliga systemets Nyquistkurva?

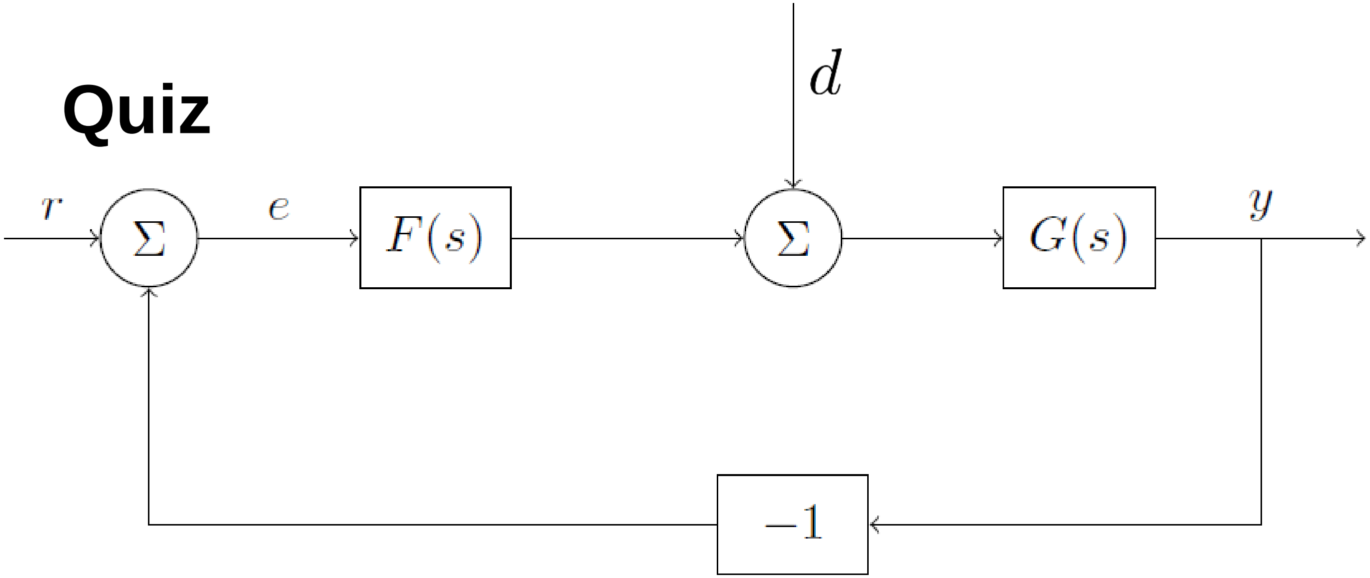
a) Nyquistkurvan omsluter -1 minst en gång.
b) Nyquistkurvan omsluter -1 exakt en gång.
c) Nyquistkurvan omsluter inte -1.
d) Robusthetskriteriet säger ingenting om Nyquistkurvan.

Quiz

(3) Hur beror känsligheten, $|S(i\omega)|$, på kretsförstärkningen?

a) Om kretsförstärkningen är stor blir känsligheten stor.
b) Om kretförstärkningen är stor blir känsligheten liten.
c) De är inte kopplade till varandra.
d) Kretsförstärkningen är begränsad av känsligheten men har ingen påverkan på den.

Quiz



(4) Är systemet beskrivet av blockschemat stabilt om

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

och

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

a) Ja
b) Nej
c) Det går inte att avgöra utan mer information.