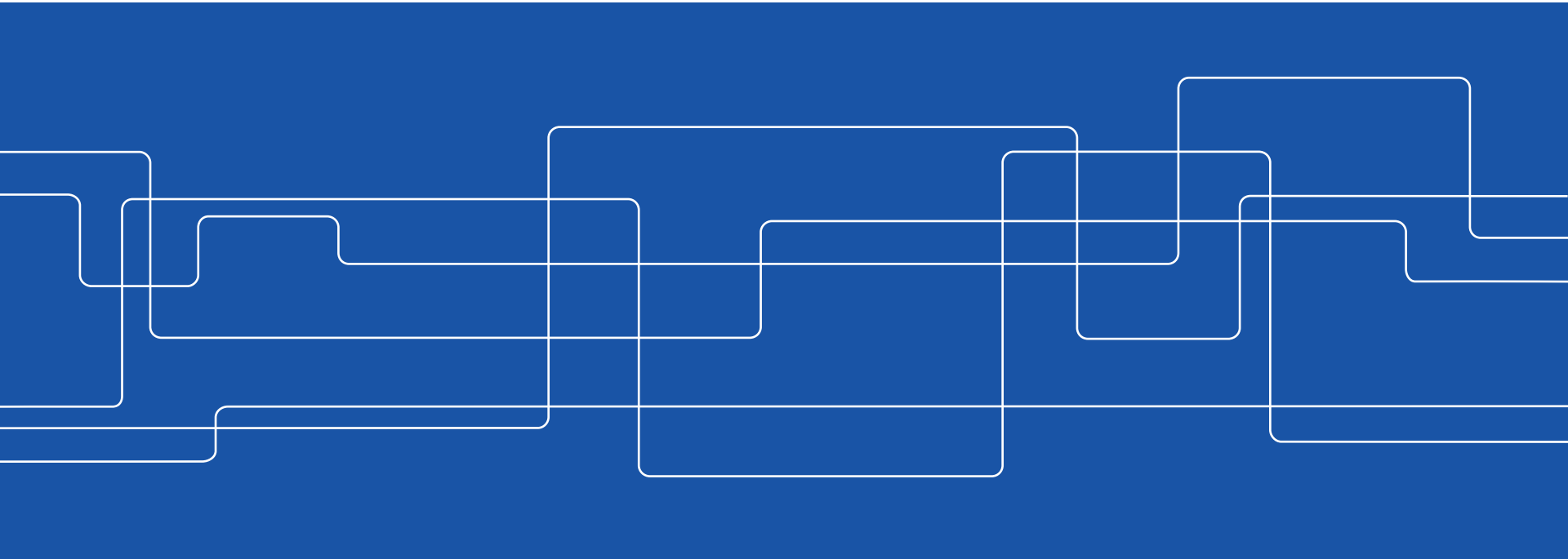




EL1010 Reglerteknik AK

Föreläsning 12:
Sammanfattning





Kursinfo: Tentamen EL1010

- Ordinarie tentamenstillfälle EL1010 är måndagen den 16/1 kl. 8.00-13.00
- Obligatorisk föranmälan ska ske senast **31 december** på Mina sidor (Mina sidor-Tentamen-Mina tentor)
- Omtentamen går (preliminärt) tisdagen den 11/4 kl.14.00-19.00
- **OBS!** Ej tenta för de som är registrerade på EL1000



Kursinfo: Räknestugor

- Resterande räknestugor:
 - 161209, 10-12 Q22
 - 161212, 8-10 V35
 - 161212, 10-12 V35
 - 170112, 10-12 B1
 - 170113, 10-12 D36
- Bra tillfälle att räkna och få svar på frågor inför Lab2, Lab3 och tentan



Dagens program

- Kursinfo om Lab 3 och tentan
- Kort sammanfattning av kursen
- Andra reglerteknikkurser
- Övriga frågor
- Några tentatal



Lab 3

- Redovisas på 15 min (inom bokad pass på 60 minuter)
- Var väl förberedd, testa alla program på XQ-dator eller egen laptop innan redovisning
- Om du har problem med *lab3robot*, så kom ändå till redovisningen
- Går att testa deluppgifter med *lab3robot*. Ex.
>> lab3robot(G,Kp,[],[],[],[],[],[],YYMMDD)



Tentan

- Måndag 16/1, kl. 8-13
- Kursbok och formelsamling (t.ex. beta) OK, men **ej** övningar, extentor, slides, etc. Mindre anteckningar i boken som inte bryter mot annan regel är OK.
- 5 uppgifter, 10 poäng per uppgift
- Läs igenom samtliga uppgifter innan du börjar räkna!
- **Motivera** varje steg i lösningen!
- Resultat rapporteras genom "Mina sidor"



Kursutvärdering

Var snäll och fyll i **kursenkät efter tentamen**. Skickas ut via epost.

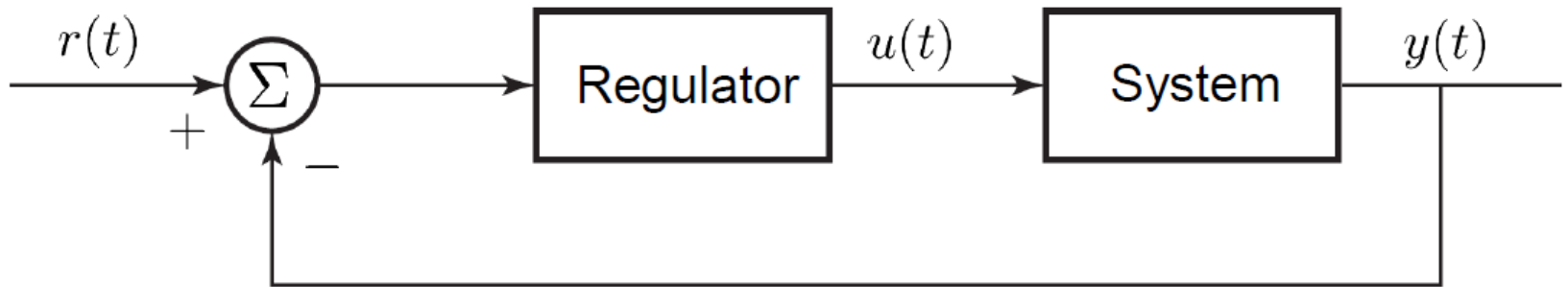
Reglerteknik



Reglerteknik: Att ändra systemegenskaper genom återkoppling!

Typiskt reglerteknikprojekt

1. **Problem:** Förbättra systemegenskaper genom aktiv styrning, d.v.s. återkopplad reglering



Syften:

- Stabilitet, robusthet
- Referensvärdesföljning
- Reducera störningskänslighet



Val av signaler

2. Signaler: Vilka variabler ska vi

- Styra \rightarrow utsignal y (z om hänsyn tas till mätbrus)
- Styra med \rightarrow styrsignal u
- Motverka \rightarrow störning d
- Mäta $\rightarrow y$ (ev. även mellansignaler)



Modellering

3. Modellering: Ta fram en matematisk beskrivning av systemets dynamiska beteende, d.v.s. samband mellan styrsignal, störningar och utsignal:

- **Fysikaliska samband:** T.ex. Newtons lagar, Bernoullis lag, etc. Eventuellt följt av linjärisering
- **Experiment:** Samla in data och anpassa modell (systemidentifiering). T.ex. stegsvarexperiment eller frekvenssvarexperiment



Systembeskrivningar

Beskrivning från linjära differentialekvationer:

- Laplacetransform ger **överföringsfunktion** $G(s)$
- $s = i\omega$ ger **frekvenssvar** $G(i\omega)$
- Omskrivning som system av första ordningens differentialekvationer ger **tillståndsform**

$$\dot{x} = Ax + Bu$$

$$y = Cx + Du$$

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax + Bu \\ y = Cx + Du \end{cases} \Leftrightarrow G(s) = C(sI - A)^{-1}B + D \Leftrightarrow G(i\omega)$$



Specifikationer

4. Specifikationer: Vilka prestanda krävs av *slutna systemet*?

- **Stegsvar:** Stigtid, översläng, insvängningstid, statistiskt fel
- **Frekvenssvar:** Bandbredd, resonanstopp, statistiskt fel, robusthet
- **Tillståndsform:** Polers läge, statistiskt fel



Design och analys

5. Regulatordesign: Bestäm $F(s)$ och säkerställ att alla specifikationer är uppfyllda

Design:

- PID
- Kompensering
- Tillståndsåterkoppling (+observatör)

Analys:

- Poler, rotort, slutvärdessatsen
- Nyquistdiagram, Bodediagram, stabilitetsmarginaler
- Känslighet och robusthetskriteriet
- Simulering

- Om specifikationer ej uppfyllda, gå tillbaka till steg 4, och ev. steg 3, 2 och 1

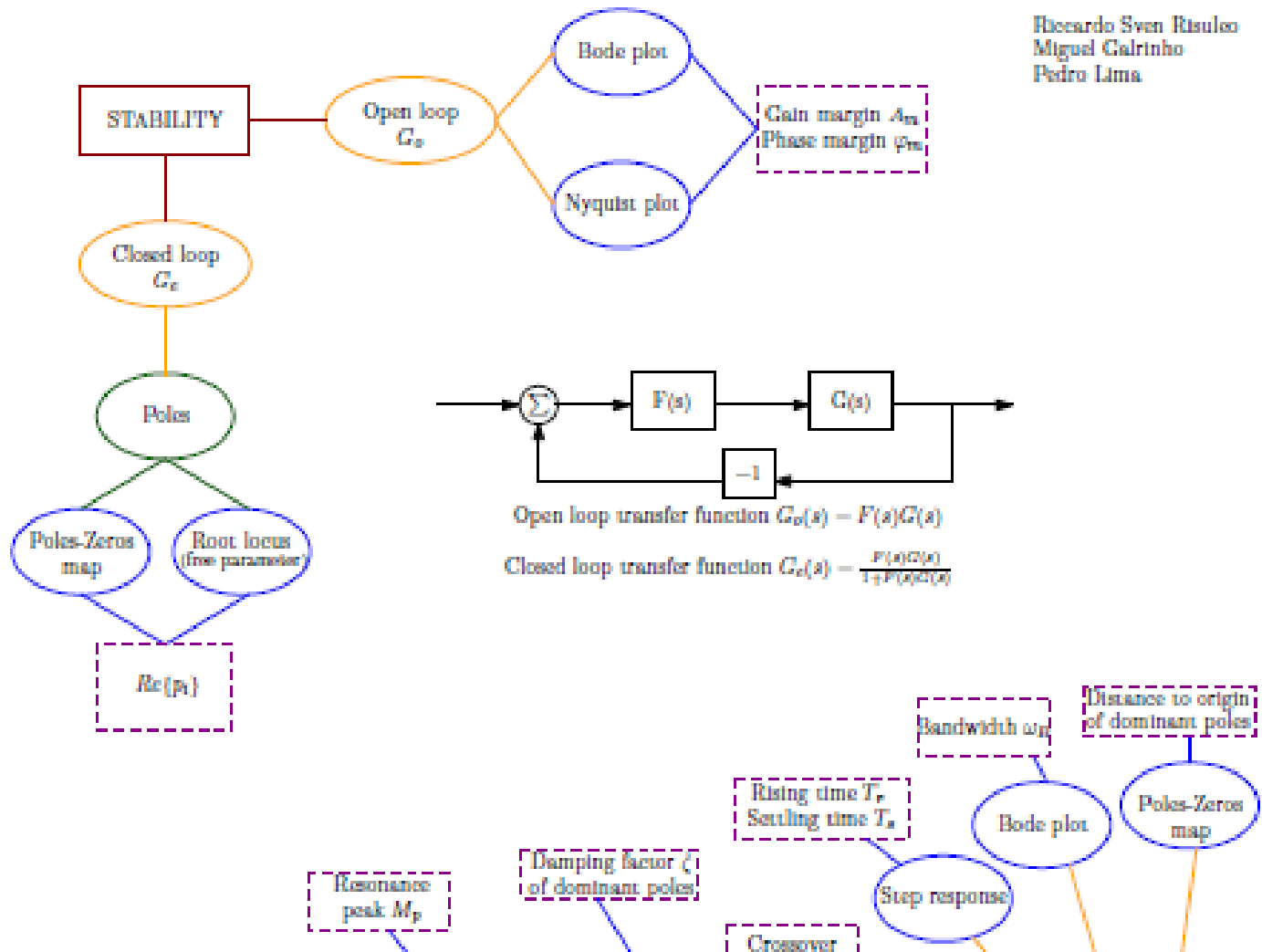


Implementering

6. Implementering: Realisera $F(s)$, oftast i dator

- Val av samplingsintervall
- Antialiasingfilter
- Diskretisering av styrlag

Riccardo Sven Risulesu
Miguel Calrinho
Pedro Lima







Läsa mer reglerteknik?

EL2520 Reglerteknik, fortsättningskurs, period 4

- Multivariabla system, optimal reglering, robusthet

EL2620 Olinjär reglering, period 2

- Olinjäriteter i reglering

EL2450 Hybrida och inbyggda reglersystem, period 3

- Implementering och styrning över nätverk

EL2820 Modellering av dynamiska system, period 1

- Modelleringsprinciper och systemidentifiering

EL2700 Modellprediktiv reglering, period 1

EL2800 Stokastisk reglering och optimering, period 2

EL2425 Reglerteknik, Projektkurs, period 2

- Genomför ett helt reglerteknikprojekt

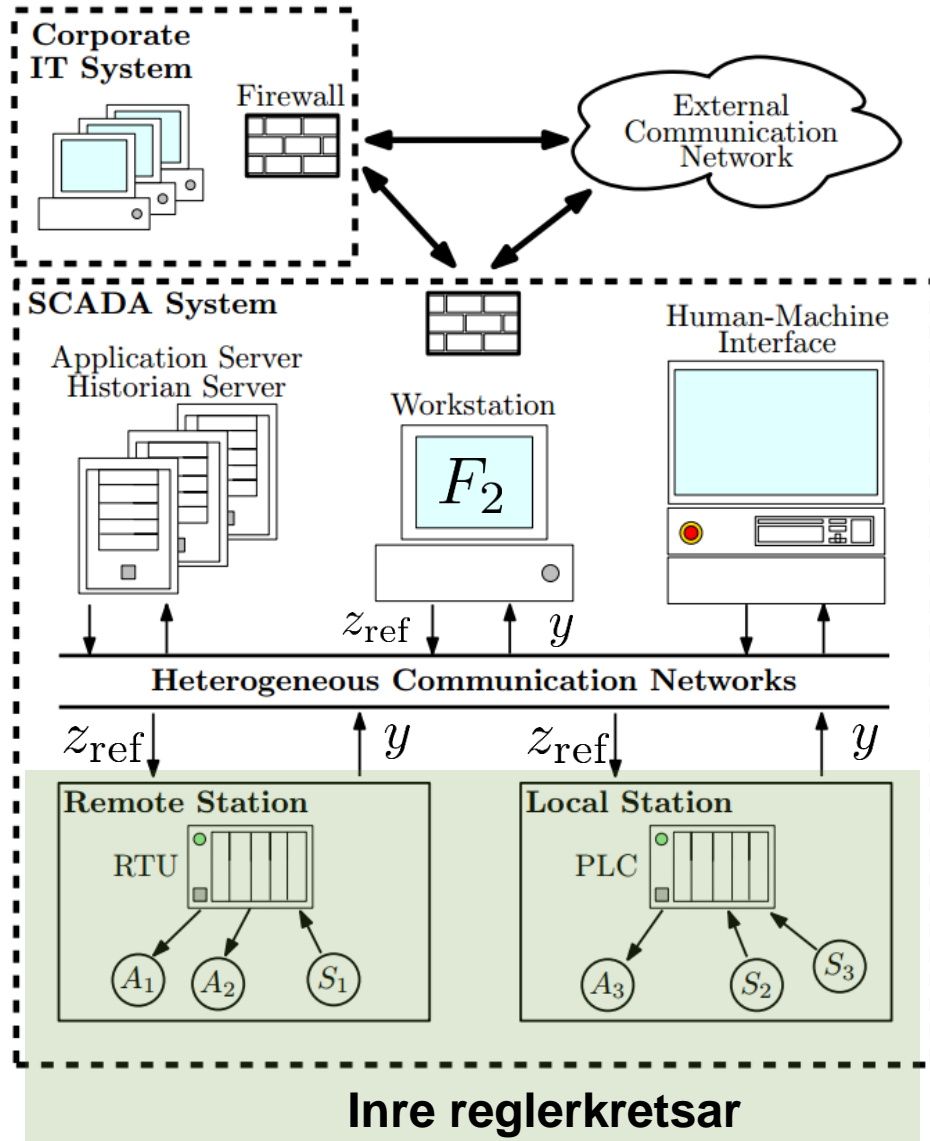
- Examensarbete

Exempel: SCADA-system

S Supervisory
C Control
A And
D Data
A Acquisition

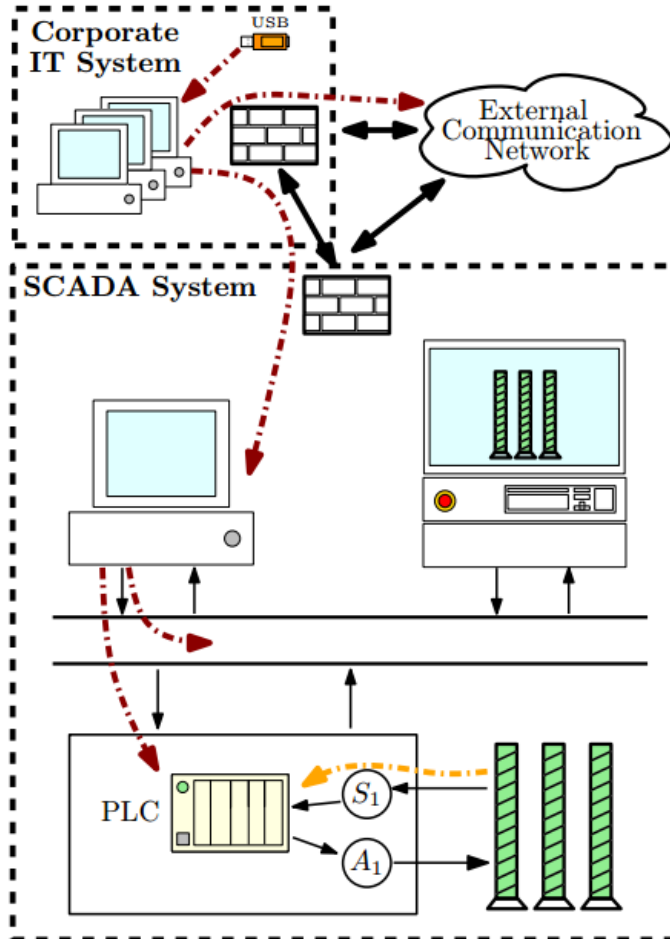
Kommunikationssystem för styrning och övervakning av industriella styrsystem och kritisk infrastruktur

Kaskadreglering!
 (s. 137-)



Aktuell forskning: Cybersårbarheter i SCADA-system

Exempel: Stuxnet-attacken 2010



A. Teixeira, "Towards cyber-secure and resilient networked control systems,"
Ph.D. dissertation, KTH Royal Institute of Technology, 2014



Myndigheten för
samhällsskydd
och beredskap

Vägledning till ökad säkerhet i industriella informations- och styrsystem

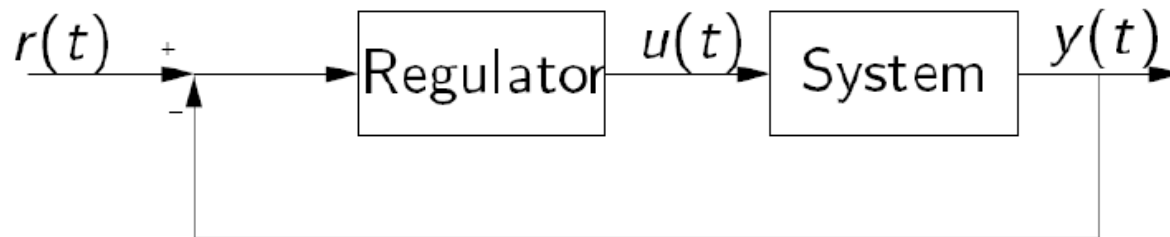


CERCES – Center för resilianta kritiska infrastrukturer
(www.kth.se/ees/cerces)



Övriga frågor?

Kompensering



- specifikationer i tidplanet: stigtid T_r , översläng M , stationärt fel e_0 , men: "svårt" att designa regulator i tidplanet
- enklare: frekvensplanet, översatt specifikationer
stegsvar \rightarrow slutna systemets frekvenssvar $G_c(i\omega) \rightarrow$
öppna systemets frekvenssvar $FG(i\omega)$



Kompensering

- Översättning (approximativ!!!)

$$T_r \rightarrow \omega_B \rightarrow \omega_c$$

$$M \rightarrow M_p \rightarrow \phi_m$$

$$e_0 \rightarrow G_c(0) \rightarrow FG(0)$$

- **kretsformning:** bestäm $F(s)$ så att $FG(i\omega)$ uppfyller specifikationerna på ω_c , ϕ_m , $FG(0)$
- oftast iterativ process då översättning av specifikationer är approximativ



Hur forma $F(i\omega)G(i\omega)$?

Specifikationer: snabbhet ω_c , dämpning ϕ_m , stationärt fel $FG(0)$

1. ω_c , dvs.

$$|FG(i\omega_c)| = 1$$

- räcker med $F = K$, dvs. bestäm K så att $|KG(i\omega_c)| = 1$



Hur forma $F(i\omega)G(i\omega)$?

2. ϕ_m , dvs.

$$\arg FG(i\omega_c) - (-180) = \phi_m$$

- kräver normalt faslyft, dvs. $\arg F(i\omega_c) > 0$
- använd lead-länk

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

ger $\arg F > 0$ om $0 < \beta < 1$

- välj β för önskat faslyft, och τ_D för maximalt faslyft vid $\omega = \omega_c$



Hur forma $F(i\omega)G(i\omega)$?

3. $FG(0)$ stort för litet stationärt fel e_0

- använd länk med hög förstärkning vid låga frekvenser

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

- parametern γ bestämmer e_0 : $F_{lag}(0) = 1/\gamma$
- parametern τ_I påverkar hur snabbt systemet svänger in mot e_0
- liten τ_I : snabb insvängning, men betydande negativ fas vid ω_c

4. Juster förstärkningen K så att $|KF_{lead}F_{lag}G(i\omega_c)| = 1$

(Om $F_{lag}(i\omega_c) \approx 1$, så kan K bestämmas redan efter Steg 2.)

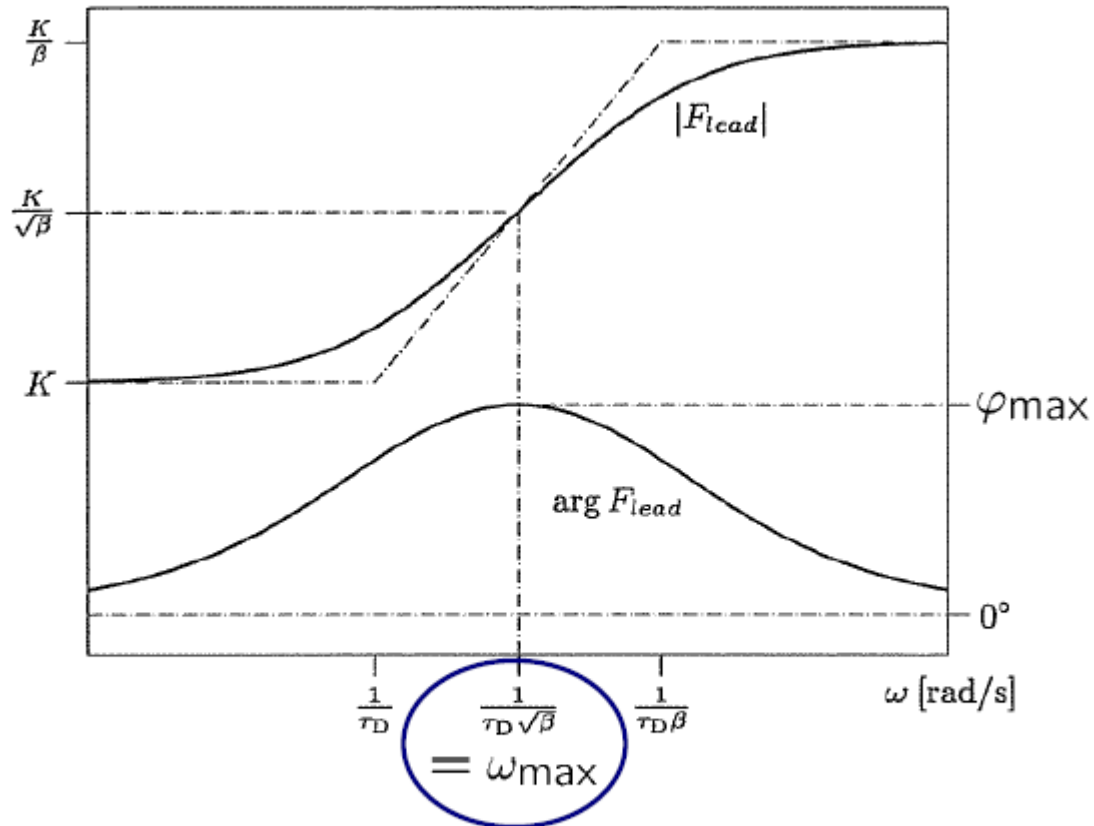


Hur forma $F(i\omega)G(i\omega)$? (Vanliga problem i Lab 3)

Notera!

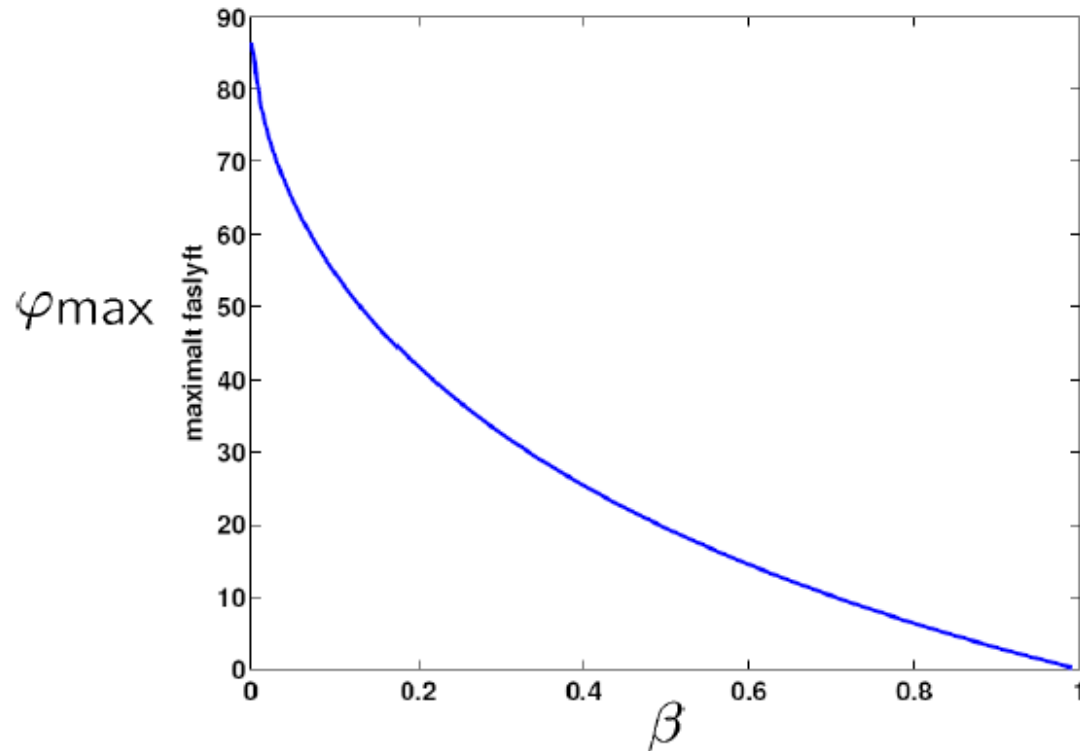
- kompensera för fasförsämring från F_{lag} genom motsvarande extra faslyft i F_{lead} (Tumregel $\tau_l=10/\omega_c$ minskar fas med 6°)
- $|F_{lead}(i\infty)| = 1/\beta$, dvs. stor förstärkning vid höga frekvenser om β litet (stora faslyft). Inte bra, förstärkar t.ex. mätbrus i styrsignalen.
lösning: använd flera lead-länker i serie

Lead-länk (PD-länk)



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

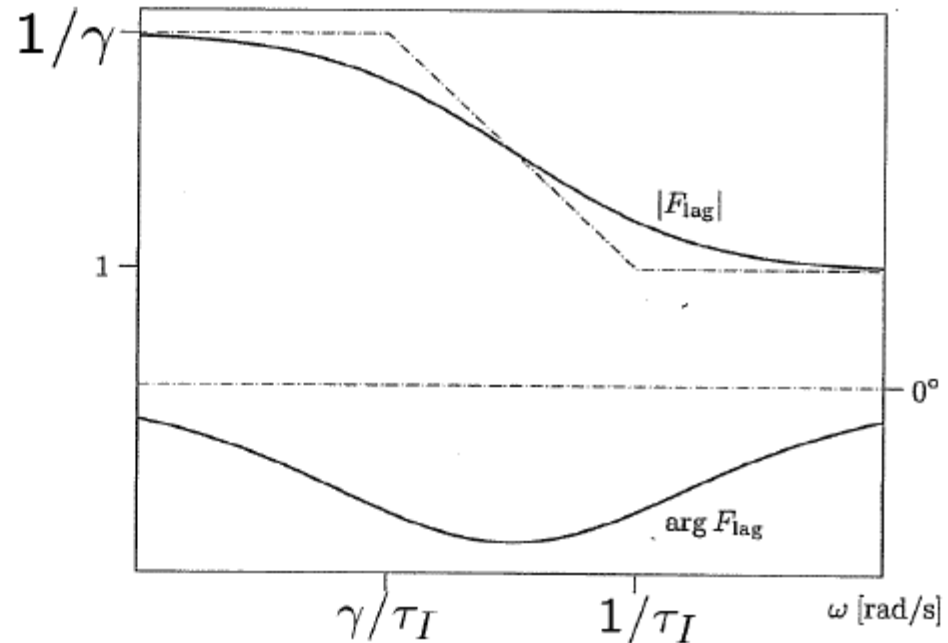
Maximalt faslyft beror på β



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 $|F(i\omega_c)G(i\omega_c)| = 1$

Lag-länk

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



- **Fördel:** Ger stor lågfrekvent förstärkning. Minskar statistiskt fel med ungefär faktor $1/\gamma$ (se nästa slide för exakt analys)
- **Nackdel:** Minskar fasmarginalen. Välj τ_I tillräckligt stort (Tumregel: Välj $\tau_I = 10/\omega_c$ så minskar fasen med 6°)



Lag-länk och statistiskt fel

- Öppet system: $G_o(s) = KF_{\text{lead}}(s)F_{\text{lag}}(s)G(s)$
- Slutet system: $Y(s) = G_c(s)R(s)$ [$G_c = G_o / (1 + G_o)$]
- Reglerfel = $e(t) = r(t) - y(t) \mapsto E(s) = R(s) - Y(s)$
- Om slutet system asymptotiskt stabilt:

$$\begin{aligned}\lim_{t \rightarrow \infty} e(t) &= \lim_{s \rightarrow 0} sE(s) = \lim_{s \rightarrow 0} s[R(s) - G_c(s)R(s)] \\ &= \lim_{s \rightarrow 0} \frac{sR(s)}{1 + G_o(s)}\end{aligned}$$

- Om referens $r(t) = \text{steg} \Rightarrow R(s) = 1/s$ så

$$\lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{1}{1 + G_o(s)} = \frac{1}{1 + G_o(0)} = \frac{1}{1 + KG(0)/\gamma}$$