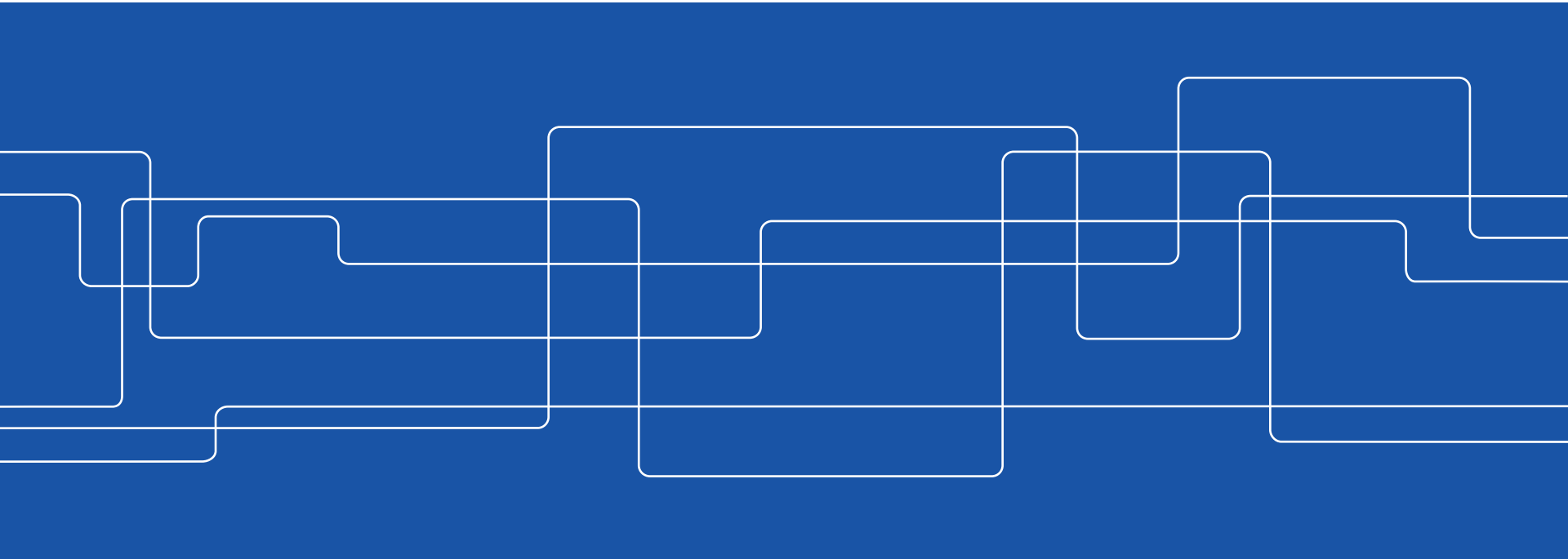




EL1000/1120 Reglerteknik AK

Föreläsning 7: Tillståndsbekrivning





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



Dagens program

- Robusthet och känslighet (repetition, slides)
- Tillståndsmodeller (tavlan)
 - Definition och exempel
 - $G(s) \leftrightarrow$ tillståndsmodell
 - Poler från tillståndsmodell
- Resultat halvtidsutvärdering (nästa gång)

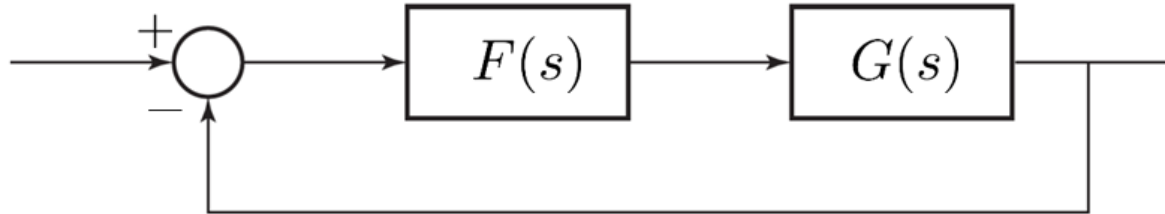


Varför återkoppla?

För att

1. stabilisera **instabila system** (exempel: inverterad pendel och JAS Gripen), och
2. få god reglerprestanda trots **modellfel** (exempel: robusthetskriteriet) och **yttre störningar och brus**

Robusthet – Inverkan av modellfel



Vår modell: $G_M = FG$ Riktigt system: $G^0 = FG(1 + \Delta_G)$

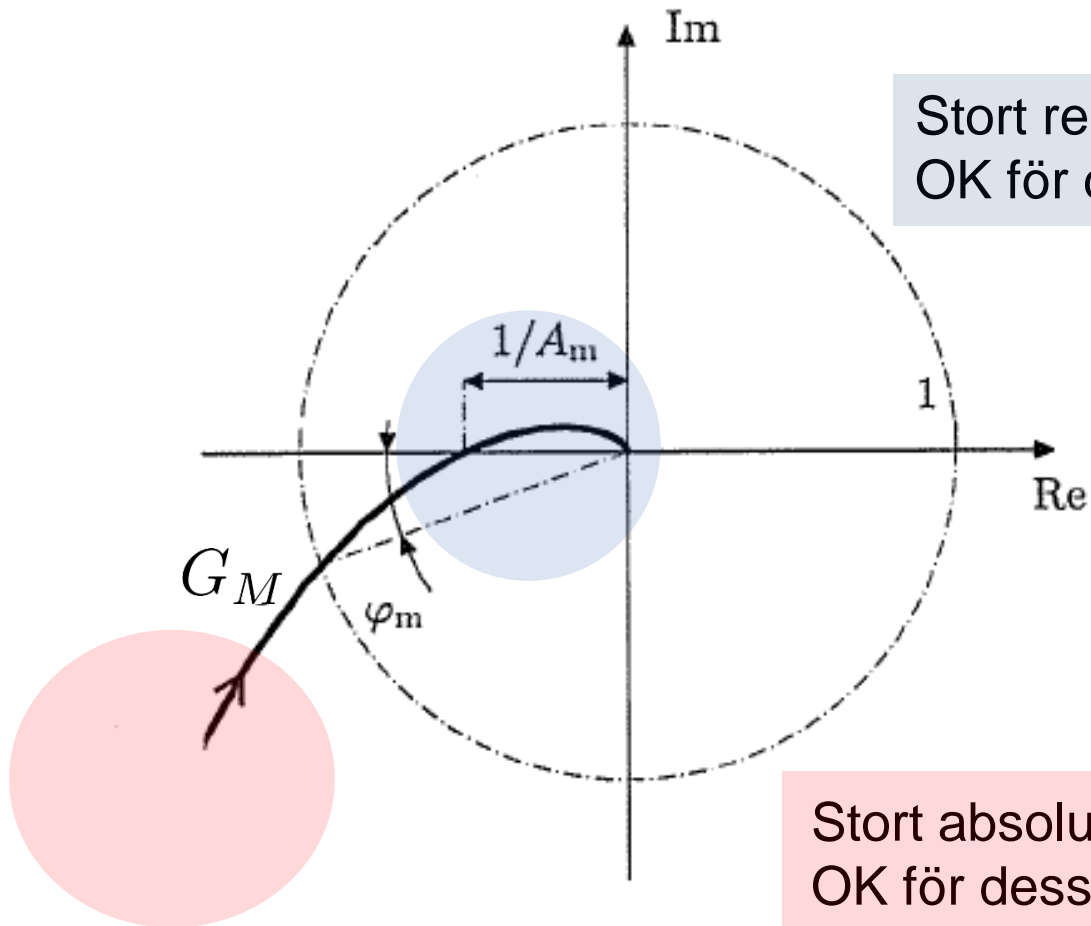
Relativt modellfel: $\Delta_G = \frac{G^0 - G_M}{G_M}$

Riktigt slutet system asymptotiskt stabilt om $G_C = \frac{G_M}{1 + G_M}$
asymptotiskt stabilt och

$$|G_C(i\omega)| < 1/|\Delta_G(i\omega)| \quad \text{alla } \omega$$

(Robusthetskriteriet [Resultat 6.2, G&L])

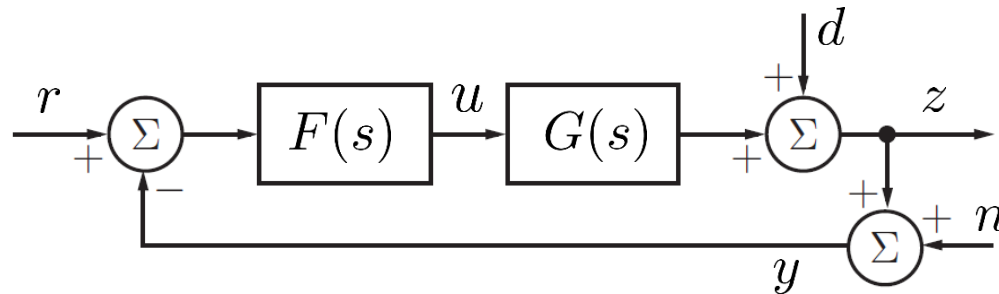
Robusthet – Tolkning i Nyquistdiagram



Stort relativt modellfel $|\Delta_G|$
OK för dessa frekvenser!

Stort absolut modellfel $|G^0 - G_M|$
OK för dessa frekvenser!

Känslighet – Inverkan av störningar och brus



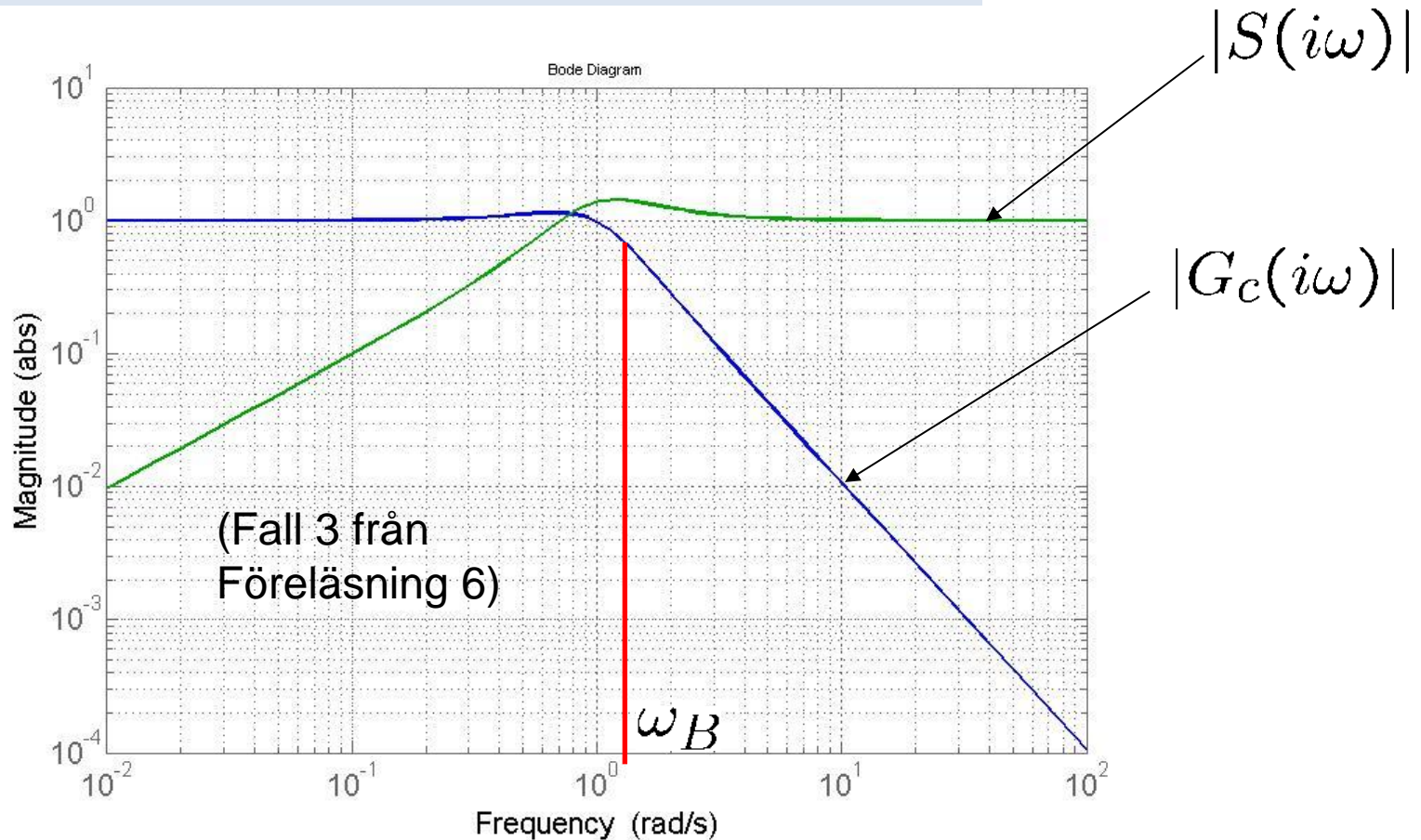
- Reglerfelet ($e_{\text{verklig}} = r - z$):

$$E_{\text{verklig}} = \underbrace{\frac{1}{1 + GF}}_S R + \underbrace{\frac{GF}{1 + GF}}_{G_C} N - \underbrace{\frac{1}{1 + GF}}_S D$$

- $S(s)$ kallas **känslighetsfunktion**
- Designa $F(s)$ så att
 1. $|S(i\omega)|$ litet där referens $|R(i\omega)|$ och störning $|D(i\omega)|$ stora
 2. $|G_C(i\omega)|$ litet där mätbrus $|N(i\omega)|$ och modellfel $|\Delta_G(i\omega)|$ stora $\Rightarrow |E_{\text{verklig}}(i\omega)|$ litet för alla ω .

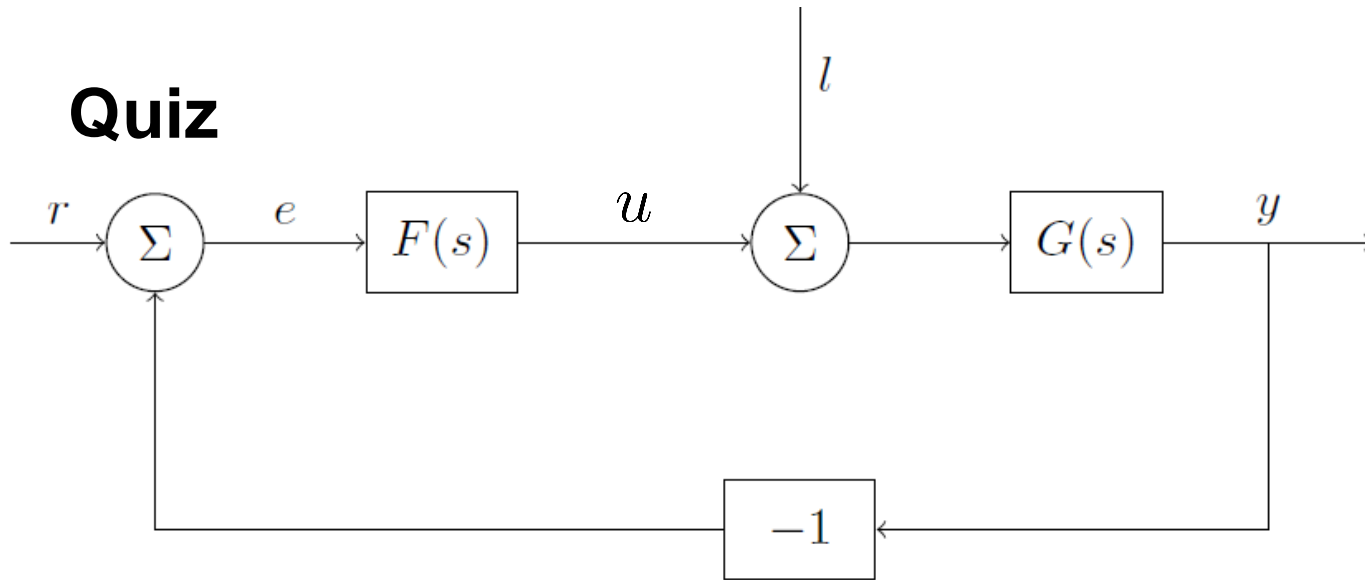
Målkonflikt

- För alla frekvenser ω : $G_c(i\omega) + S(i\omega) = 1$
(Medför att $|G_c(i\omega)| + |S(i\omega)| = 1$)



- **Välj** bandbredd $\omega_B (\sim \omega_c \sim \frac{1}{T_r})$ så att punkter 1.-2. uppfylls

Quiz



(1) 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.

Intern stabilitet (bonus, finns ej i boken)

Ett slutet system är **internt stabilt** endast om **alla** överföringsfunktionerna ("de fyras gäng")

$$\underbrace{\frac{GF}{1+GF}}_{G_C} \quad \underbrace{\frac{1}{1+GF}}_S \quad \underbrace{\frac{G}{1+GF}}_{l \rightarrow y} \quad \underbrace{\frac{F}{1+GF}}_{r \rightarrow u}$$

är asymptotiskt stabila.

- Varning för instabila pol-nollställeförkortningar!
- De fyras gäng i quizen:

$$\frac{s}{s+1}, \quad \frac{1}{s+1}, \quad \frac{s}{s-2}, \quad \frac{s-2}{(s+1)^2}$$

Instabil!



Dagens program

- Robusthet och känslighet (repetition, slides)
- **Tillståndsmodeller (tavlan)**
 - Definition och exempel
 - $G(s) \leftrightarrow$ tillståndsmodell
 - Poler från tillståndsmodell
- Resultat halvtidsutvärdering (nästa gång)

Utveckling av reglerteknik

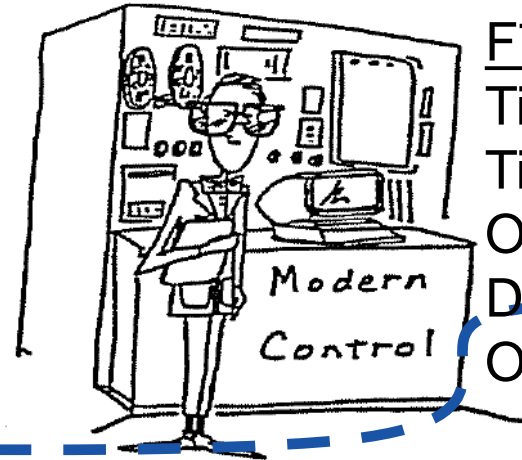
40's - 50's →



F1-F6:

$G(s)$
 Frekvensanalys
 PID
 Kompensering
 Analog

60's - 70's →



Reglerteknik AK

F7-F9, F11:

Tillståndsmodeller
 Tillståndsåterkoppling
 Observatör
 Digital reglering
 Optimal styrning

80's - 90's →



Reglerteknik FK

Robust, adaptiv och prediktiv
 reglering m.m.

[Zhou *et al.*, 1996]

Figure 1.1: A picture history of control



Fördelar med tillståndsmodeller

- Naturligt vid modellbygge, tillstånd har ofta fysikalisk betydelse
- Ger fullständig förklaring till pol-nollställe-förkortningar och intern stabilitet
- Lämpligt vid datorsimulering och optimering
- Återkoppling med flera mätsignaler på systematiskt sätt
- System med flera in- och utsignaler behandlas på samma sätt



Quiz

(2) Vilket av följande är ett linjärt system?

a)

$$\dot{x} = x \cdot u, \quad y = (1 \quad 1) x$$

b)

$$\dot{x} = x + e^u, \quad y = (1 \quad 0) x + u^2$$

c)

$$\dot{x} = \begin{pmatrix} 0 & 2 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} x + \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \end{pmatrix} u, \quad y = (1 \quad 0) x^2 + u$$

d)

$$\dot{x} = \begin{pmatrix} 1 & t^2 \\ 2 & 0 \end{pmatrix} x + u, \quad y = (1 \quad 0) x$$



Quiz

(3) Betrakta differentialekvationen

$$\ddot{y}(t) + y(t) = u(t)$$

Vilken tillståndsbeskrivning motsvarar den?

a) $\dot{x} = \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} x(t) + \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} u(t), \quad y(t) = (1 \ 0)$

b) $\dot{x} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} x(t) + \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} u(t), \quad y(t) = (1 \ 0)$

c) $\dot{x} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} x(t) + \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \end{pmatrix} u(t), \quad y(t) = (1 \ 0)$

d) $\dot{x} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix} x(t) + \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} u(t), \quad y(t) = (1 \ 0)$