

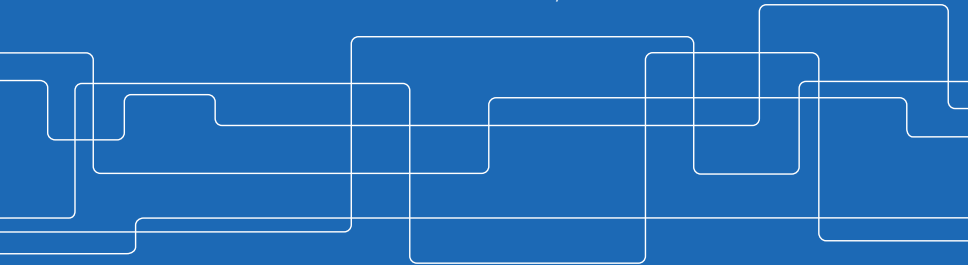


# Föreläsning 12

## Reglerteknik AK

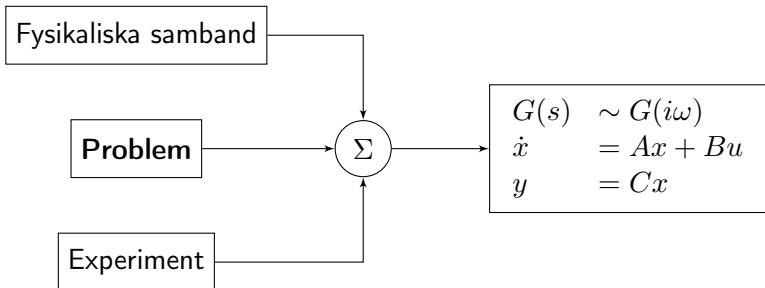
©Bo Wahlberg  
*Avdelningen för Reglerteknik, KTH*

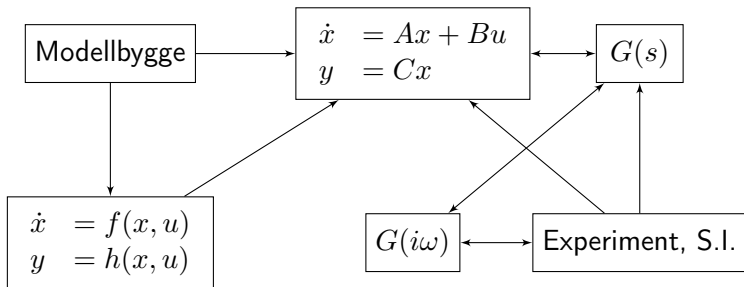
6 oktober, 2016





# Sammanfattning

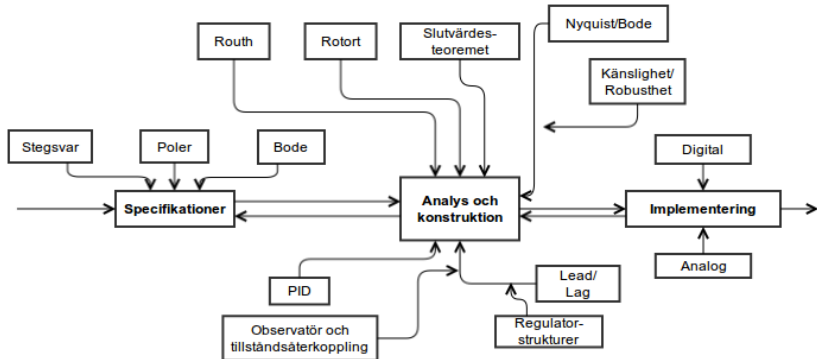




Verkliga system är komplicerade:

$$G^0(s) = G(s)[1 + \Delta_G(s)], \quad |\Delta_G(i\omega)| \leq g(\omega) \quad \forall \omega$$

# Sammanfattning





# Sammanfattning - Rotort

## Rotort:

- I.  $n$  Startpunkter ( $K = 0$ )
- II.  $m$  Ändpunkter ( $K = \infty$ )
- III. Var ligger  $\infty$ ? (Asymptoter)  
Riktning:  $\frac{\pi}{n-m} + k \cdot \frac{2\pi}{n-m}$   
Skärningspunkt:  $\frac{1}{n-m} (\sum p_i - \sum q_j)$
- IV. Skärning med reella axeln. "*Udda summa*"
- V. Skärning med imaginära axeln. Ansätt  $s = i\omega$
- VI. Rita rotort och **dra slutsats**



# Sammanfattning - Slutvärdesteoremet

## Slutvärdesteoremet:

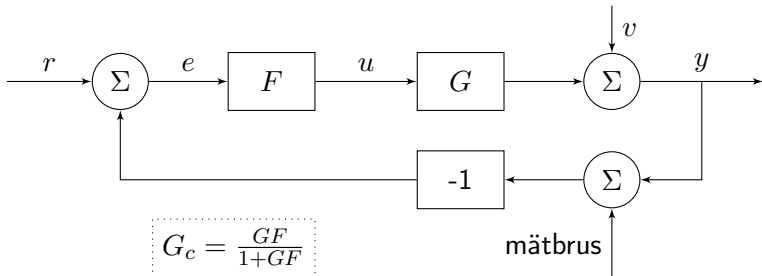
Kom ihåg att kolla att slutvärdet existerar! (slutna systemets poler strikt i V.H.P.)

Steg  $\frac{1}{s}$

Ramp  $\frac{1}{s^2}$



# Sammanfattning - Specifikationer



**Tidsdomänen:**

Stigtid:  $T_r$

Insvängningstid:  $T_s$

Översläng:  $M$

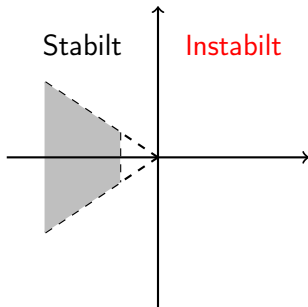
**Frekvensdomänen:**

Bandbredd:  $\omega_B$

Resonanstop:  $M_p$

Resonansfrekvens:  $\omega_r$

# Sammanfattning - Poler



Avstånd till origo  $\approx$  snabbhet

Vinkel  $\approx$  svängighet





## Sammanfattning - Poler

**Nyquist:**

$$G_o(i\omega)$$

**Bode:**

$$|G_o(i\omega)|, \arg [G_o(i\omega)]$$

Tolkning  $\leftrightarrow$  rita

$$\left. \begin{array}{l} \text{skärfrekvens: } \omega_c \\ \text{fasmarginall: } \varphi_m \end{array} \right\} \iff |G(i\omega_c)| = 1$$

Amplitudmarginalen kan läsas av i Bodediagram eller Nyquistkurva (se figur 5.2 samt 5.3 i boken).

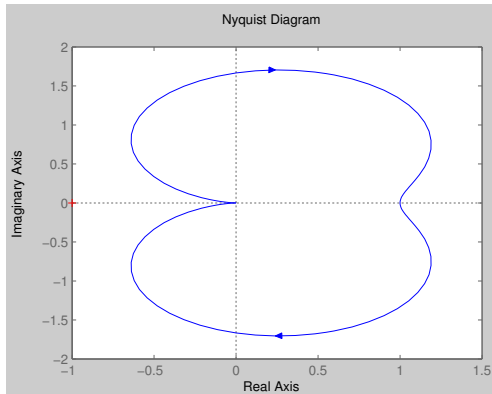


## Sammanfattning - Nyquistkriteriet

Antag att  $G_o(s)$  saknar poler i H.H.P. och att Nyquistkurvan  $\mathbf{e}j$  omcirklar  $-1$ .

$\Rightarrow G_c(s)$  saknar poler i H.H.P.

$\Rightarrow$  Stabilt återkopplat system.





## Sammanfattning - Bodediagram

Öppna systemets Bodediagram  $\leftrightarrow$  Slutna systemets Bodediagram

Fördubbla  $\omega_c \rightsquigarrow$  Fördubbla  $\omega_B$

$$\varphi_m \sim M_p$$

liten  $\rightarrow$  stor ( $\varphi_m \approx 50^\circ - 60^\circ$  OK)

$$G_o(i\omega) \text{ stor} \Rightarrow G_c(i\omega) \approx 1$$

$$G_o(i\omega) \approx -1 \Rightarrow G_c(i\omega) \text{ stor}$$

Konform avbildning!



## Sammanfattning - Känslighet och störningar

Känslighet (störningar):

$$S = \frac{1}{1 + FG}$$

Robusthet (modellfel):

$$T = \frac{FG}{1 + FG} = 1 - S$$



## Sammanfattning - Konstruktion

**PID-regulator:**

$$U(s) = K \left( 1 + \frac{1}{T_I} \frac{1}{s} + T_D s \right) = K_P + K_I \frac{1}{s} + K_D s$$

**Lead-/Lag-länk:**

$$F(s) = K \frac{\tau_D s + 1}{\beta \tau_D s + 1} \frac{\tau_I s + 1}{\tau_I s + \gamma}$$

Önska  $\bar{\omega}_c$  (Lägg till 5.7° extra på fasmarginalen,  $\varphi_m$ )

$$\implies \beta \implies \tau_D \implies K$$

$$\tau_I = \frac{10}{\bar{\omega}_c} \text{ (iterera)}$$

Välj  $\gamma$  liten.



## Sammanfattning - Tillståndsteori

$$\begin{cases} \dot{x} &= Ax + Bu \\ y &= Cx \end{cases}$$

$$\begin{aligned} \dot{\hat{x}} &= A\hat{x} + Bu + K(y - C\hat{x}) \\ \det [sI - (A - KC)] &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u &= -Lx + l_0r \\ \det [sI - (A - BL)] &= 0 \end{aligned}$$



$$u = -L\hat{x} + l_0r$$

Styrbarhet + Observerbarhet



# Sammanfattning

## Regulatorstrukturer:

- Framkoppling
- Kaskadreglering
- Otto Smith
- Internal Model Control

## Implementering:

- Euler bakåt
- Tustins formel

Differentialekvationer  $\mapsto$  differensekvationer



## Tentan 22 oktober

- Man får ha boken och Beta med sig (samt. miniräknare).  
**Läs boken innan tentan!**
- Problemlösning (ej utantillavskrivningar). Träna på gamla tentor!
- **Observera** att man måste vara anmäld för att få skriva tentan!

**Frågestund inför tentan:** Torsdagen den 20 oktober kl 13-17 i Q21.





## KEX+ Fler kurser

### Master's programme in Systems, Control and Robotics

- Olinjär reglering, Jonas Mårtensson, period 2
- Hybrida och inbyggda reglersystem, Dimos Dimarogonas, period 3
- Reglerteknik, fortsättningskurs, Elling Jacobsen, period 4
- Modellering av dynamiska system, Cristian Rojas, period 1,
- Reglerteknik projektkurs, Jonas Mårtensson, period 1-2
- Modell-prediktiv reglering, Mikael Johansson, period 1
- Stokastisk reglering och optimering, Alexandre Proutiere, period 2