

Reguleringsteknik 1

J. Christian Andersen

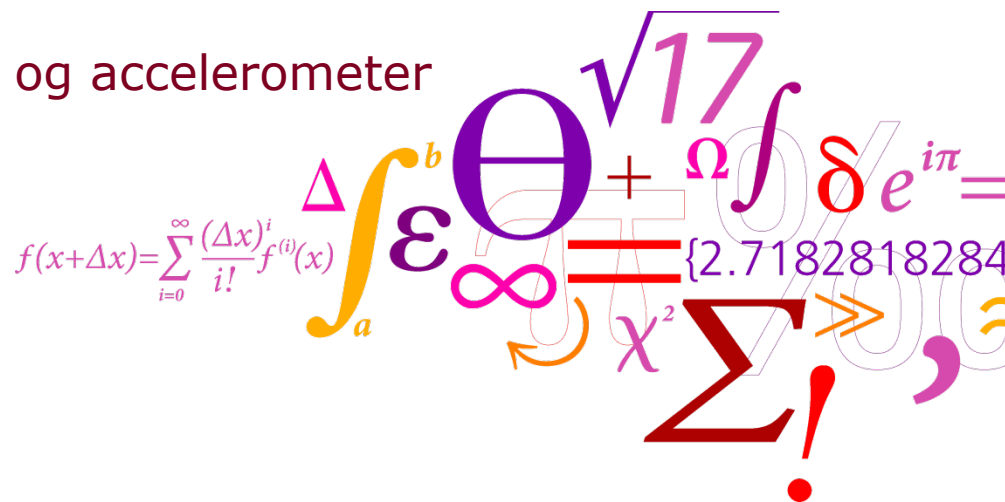
Kursusuge 10

Plan

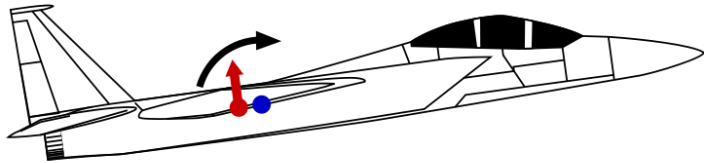
- Ustabile systemer - poler i højre halvplan
 - Regulatordesign fortegnsanalyse
 - Regulatordesign Nyquist baseret
- REGBOT model, og intro til øvelse
 - Model forklaring
 - Regulator sløjfer
 - Tilt måling på robot – gyro og accelerometer

Øvelse 10+11+12

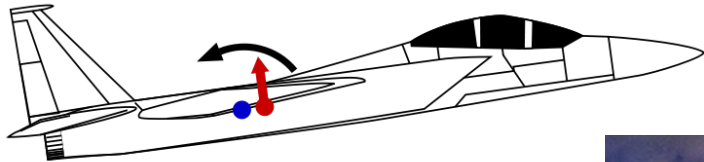
- REGBOT balance regulering



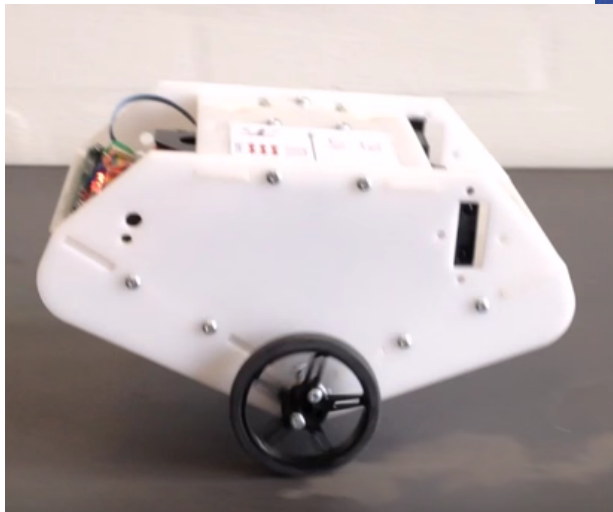
Ustabile systemer = Poler i højre halvplan



Tyngdepunkt langt bagude



Sejl langt bagude



Bakke med anhænger

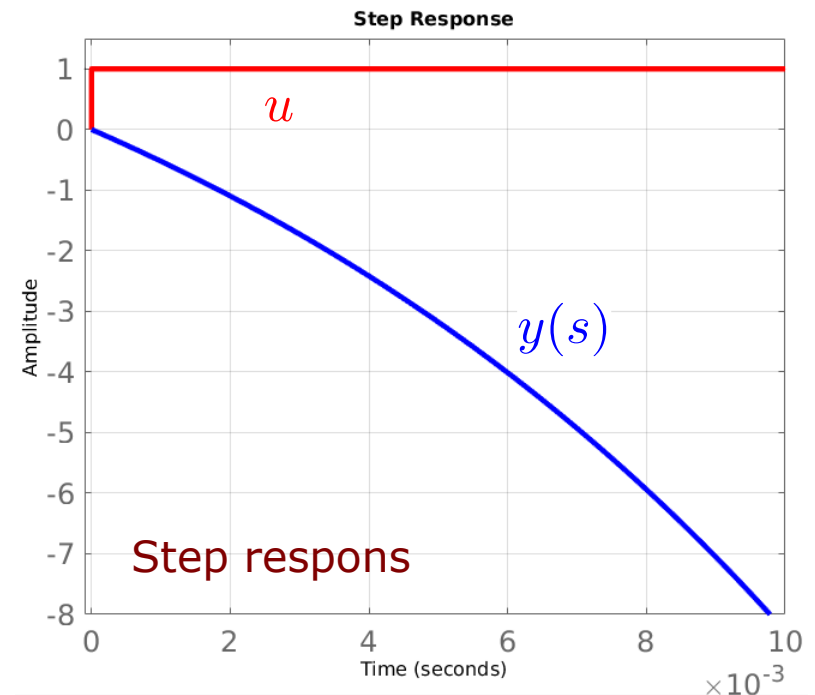
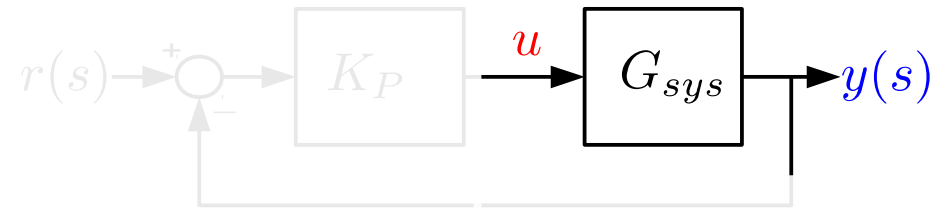
Poler i højre halvplan

System (åben sløjfe)

$$G_{sys} = \frac{0.5(s + 1)}{(0.1s + 1)(-0.01s + 1)}$$

$$G_{sys} = \frac{0.5(s + 1)}{0.001s^2 - 0.09s - 1}$$

Forskelligt fortegn
(og manglende led)
i nævnerpolynomiet
er et sikkert tegn på
poler i højre halvplan!
(eller på jw akse)

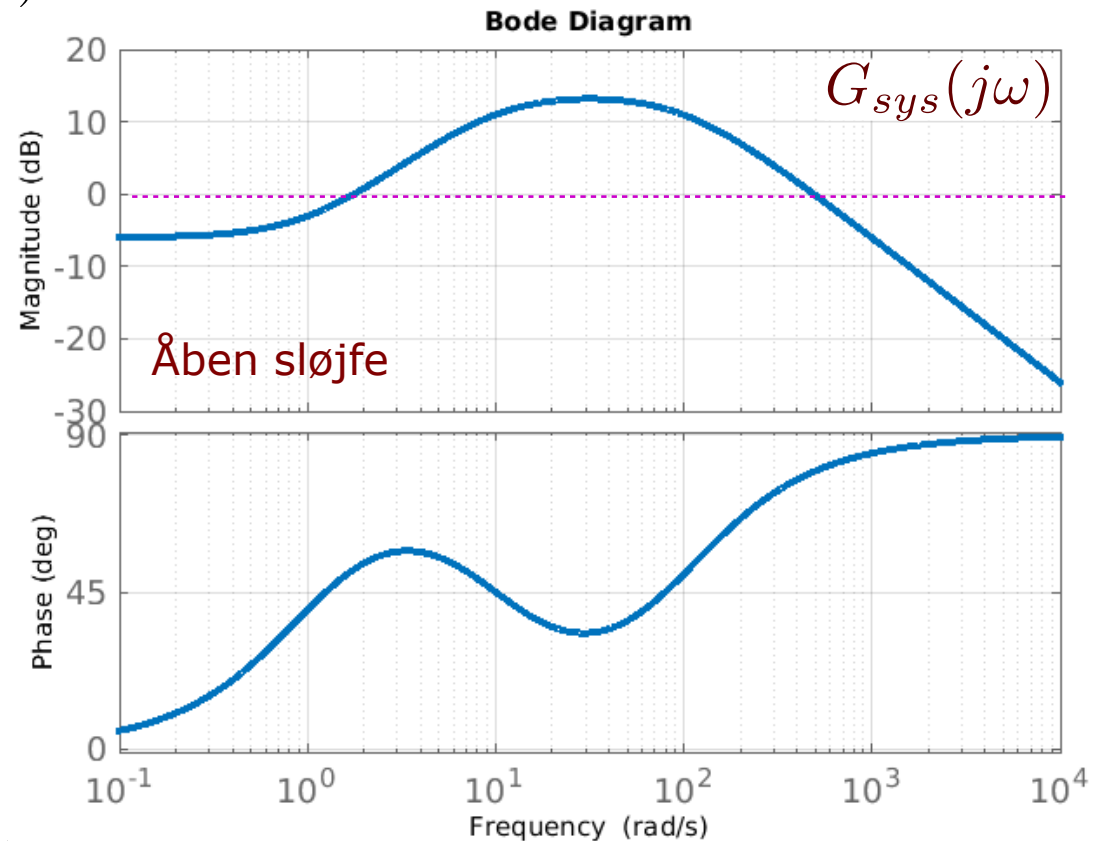
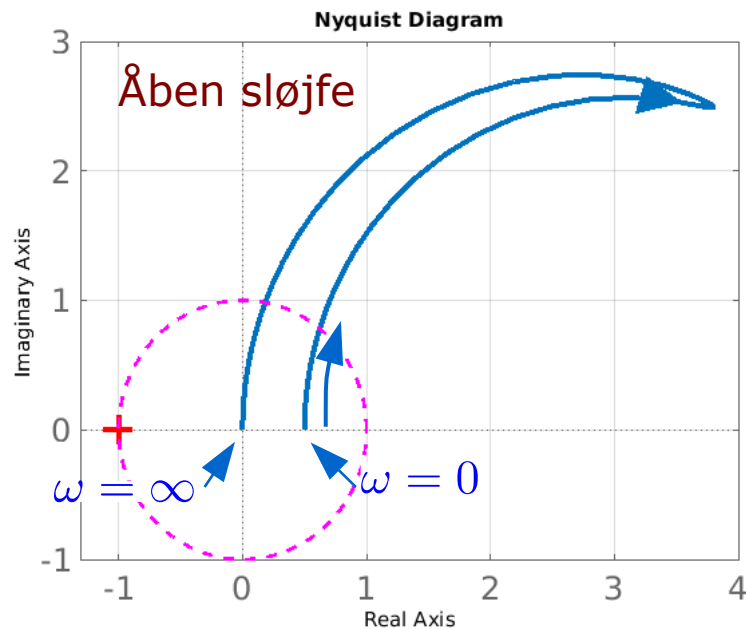
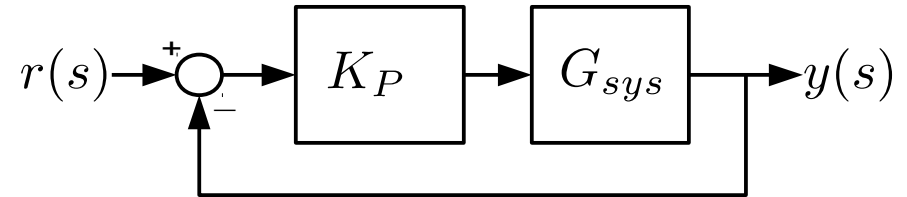


Poler i højre halvplan

System

$$G_{sys} = \frac{0.5(s+1)}{(0.1s+1)(-0.01s+1)}$$

$$K_P = 1$$



Poler i højre halvplan

Lukket sløjfe

System (åben sløjfe)

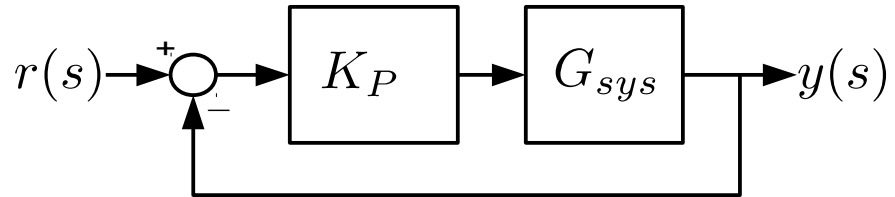
$$G_{sys} = \frac{0.5(s+1)}{(0.1s+1)(-0.01s+1)}$$

$$G_{sys} = \frac{0.5(s+1)}{0.001s^2 - 0.09s - 1}$$

Lukket sløjfe med P-regulator

$$G_{cl} = \frac{G_{\dot{a}}}{1 + G_{\dot{a}}}$$

$$G_{cl} = \frac{0.5K_P(s+1)}{-0.001s^2 + (0.5K_P + 0.09)s + 0.5K_P + 1}$$



Forskelligt fortegn
(og manglende led)
i nævnerpolynomiet
er et sikkert tegn på
poler i højre halvplan!
(eller på jw akse)

Samme fortegn, hvis:

$$\left. \begin{array}{l} 0.5K_P + 0.09 < 0 \\ 0.5K_P + 1 < 0 \end{array} \right\} \Rightarrow K_P < -2$$

Metode kan bruges,
men vanskelig, hvis
Kp alene ikke er nok.

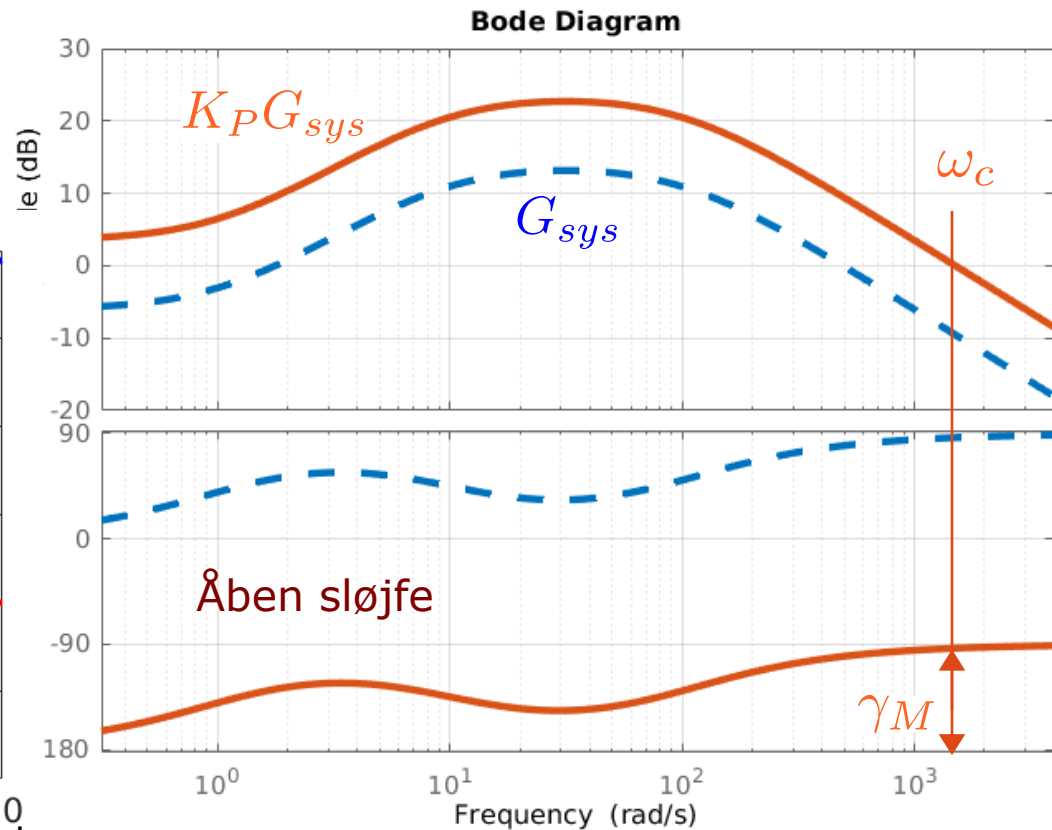
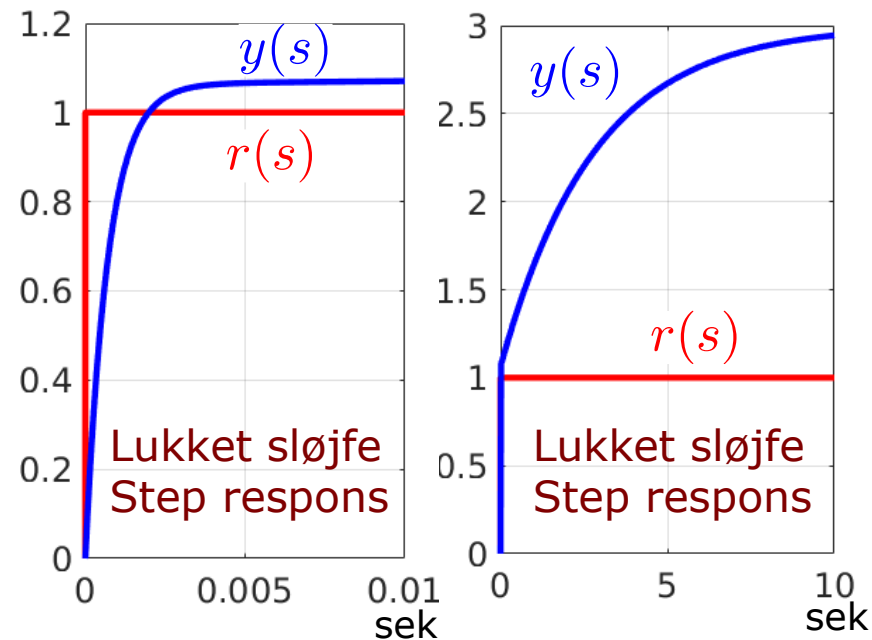
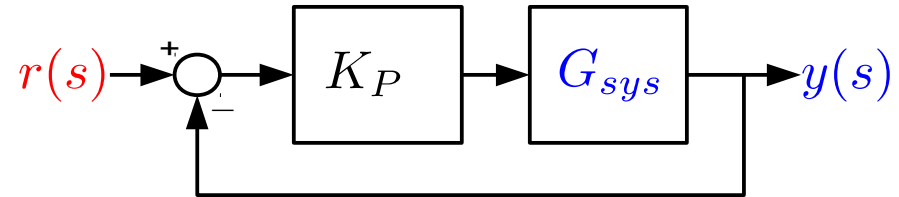
Poler i højre halvplan Lukket sløjfe

$$G_{sys} = \frac{0.5(s+1)}{(0.1s+1)(-0.01s+1)}$$

Lukket sløjfe stabilt for $K_P < -2$

$$K_P = -3$$

$$G_{cl} = \frac{1500s + 1500}{s^2 + 1410s + 500}$$



Reguleringsteknik 1

J. Christian Andersen

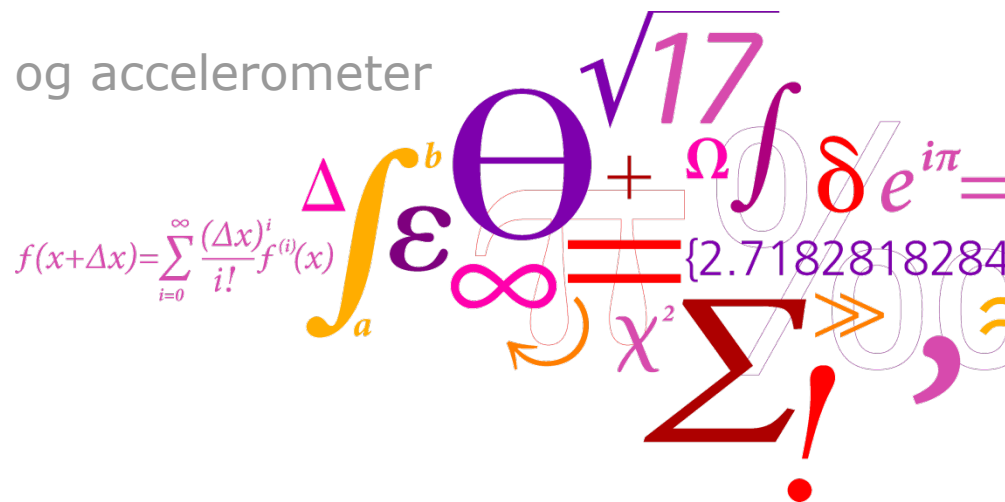
Kursusuge 10

Plan

- Ustabile systemer - poler i højre halvplan
 - Regulatordesign fortegnsanalyse
 - **Regulatordesign Nyquist baseret**
- REGBOT model, og intro til øvelse
 - Model forklaring
 - Regulator sløjfer
 - Tilt måling på robot – gyro og accelerometer

Øvelse 10+11+12

- REGBOT balance regulering



Nyquist plot med Poler i højre halvplan Kp fortegn

System

$$G_{sys}(s) = \frac{0.5(s+1)}{(0.1s+1)(-0.01s+1)}$$

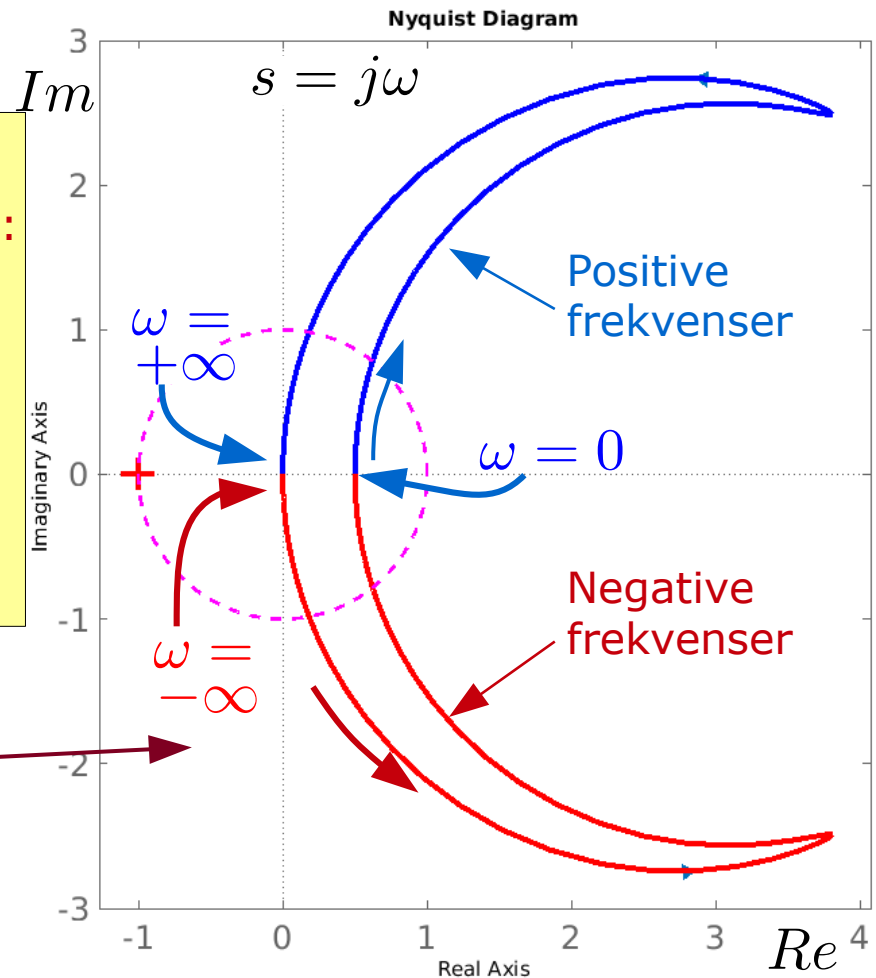
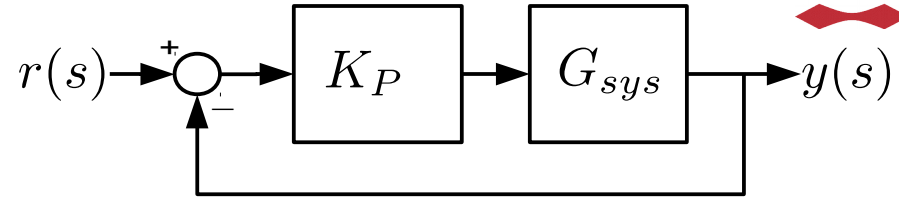
Nyquist stabilitetskriterie

Med *en* pol i højre halvplan (åben sløjfe):
For $s = j\omega$ og $\omega = [-\infty \rightarrow +\infty]$
Skal kurven omløber -1 netop
en gang i modurs retning (CCV),
for at lukket sløjfe er stabil.

(og tilsvarende 0 gange for 0 poler i
højre halvplan, og 2 gange for 2
poler i højre halvplan, etc)

Konklusion for dette system:
Kp skal være negativ.

For uddybning se appendix B
(Appendix B er ikke pensum)



Poler i højre halvplan K_p negativ

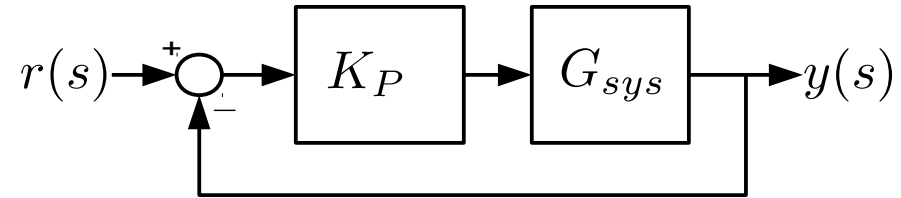
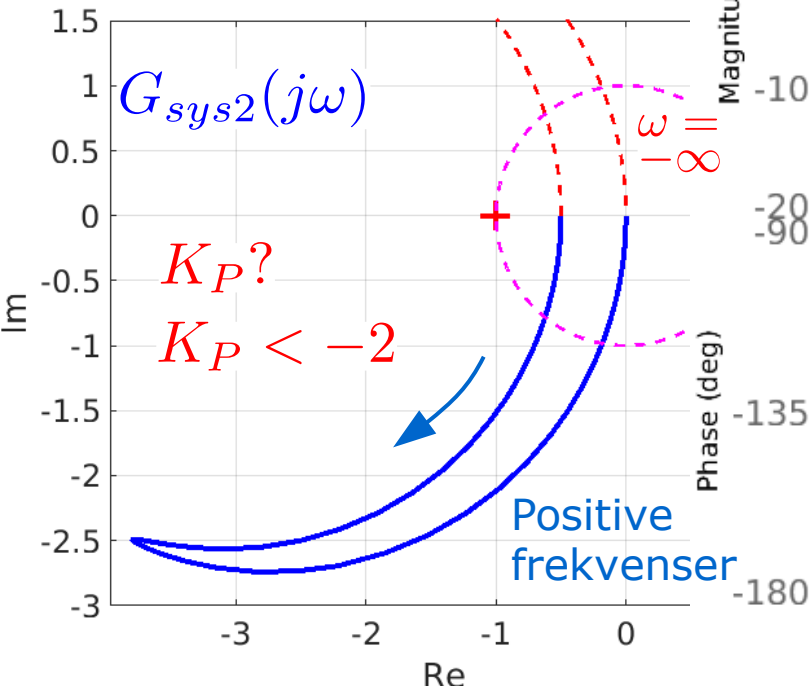
System

Fortegn fra K_p

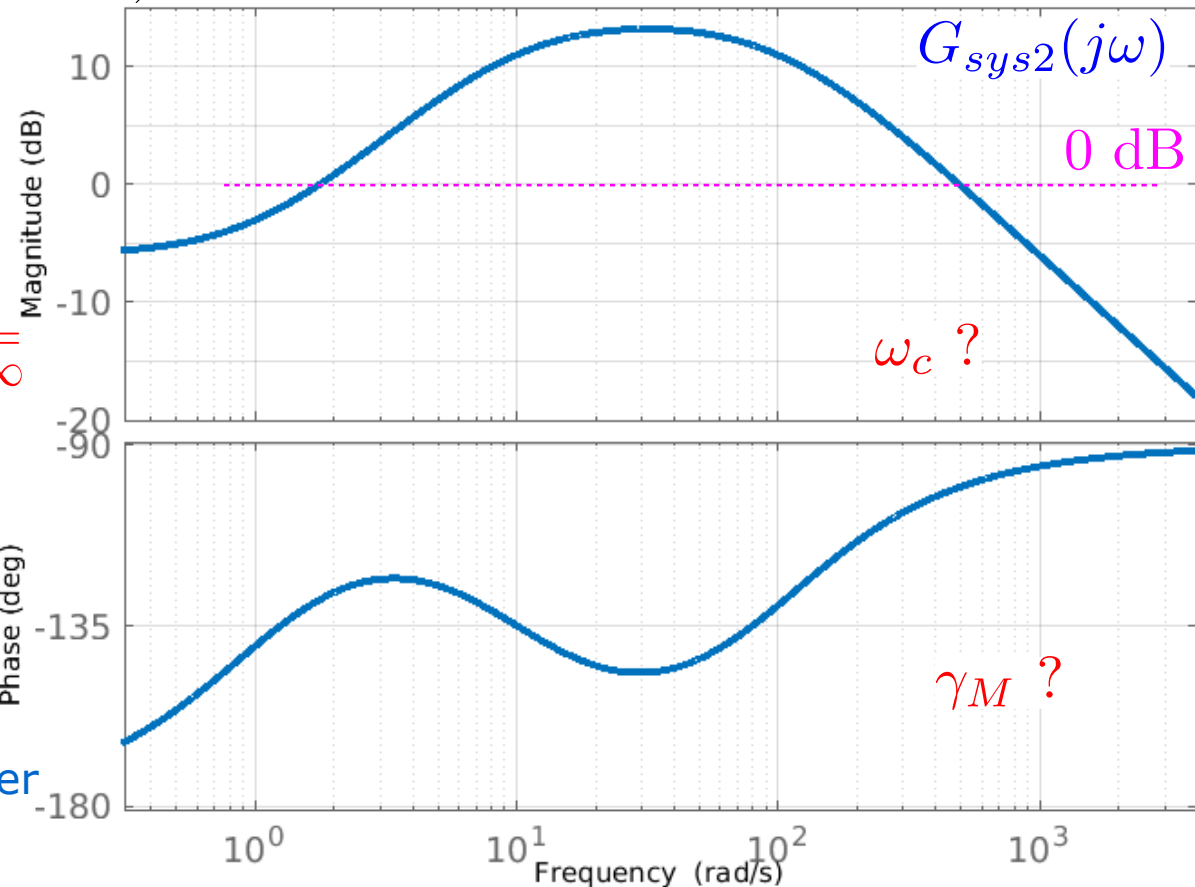
$$-0.5(s + 1)$$

$$G_{sys2} = \frac{-0.5(s + 1)}{(0.1s + 1)(-0.01s + 1)}$$

Valg af ω_c ?
udregning af K_P ?

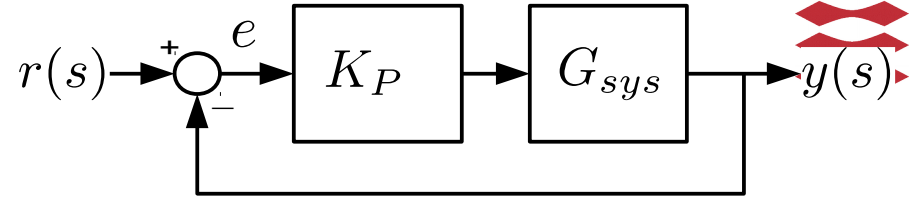


Bode Diagram



Poler i højre halvplan

Kp negativ



System

$$G_{sys2} = \frac{0.5(s+1)}{(0.1s+1)(-0.01s+1)}$$

$$\omega_c = 2000$$

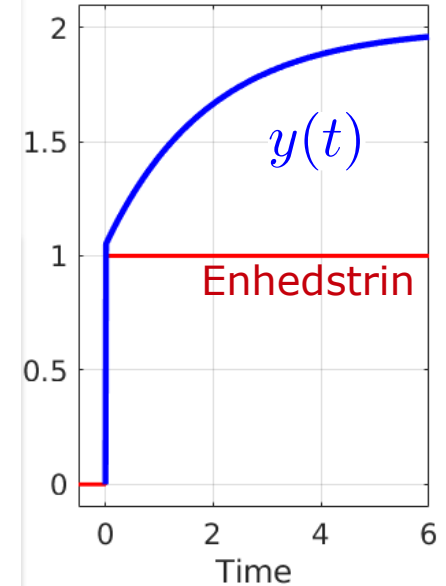
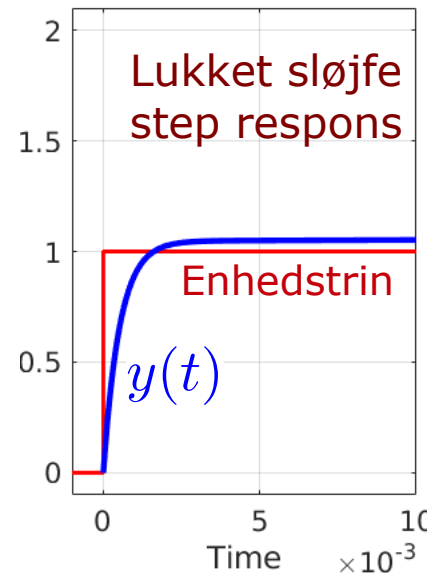
$$\frac{1}{|G_{sys}(j\omega_c)|} = 4 \Rightarrow K_P = -4$$

Lukket sløjfe

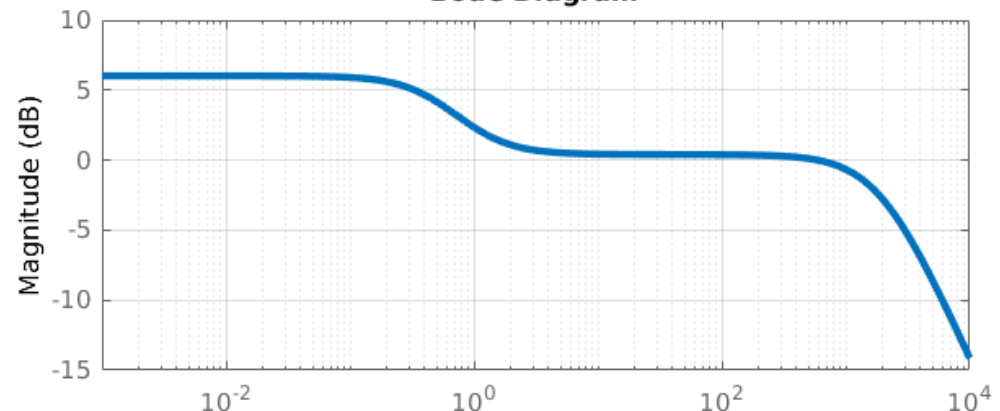
$$G_{cl} = \frac{2(s+1)}{0.001s^2 + 1.91s + 1}$$

$$e(s) = \frac{s^2 - 90s - 1000}{s^2 + 1910s + 1000}$$

Enhedsstep input, hvad bliver Stationær fejl?



Bode Diagram



Poler i højre halvplan

Bode-design med PI-regulator

System

Fortegn fra K_p

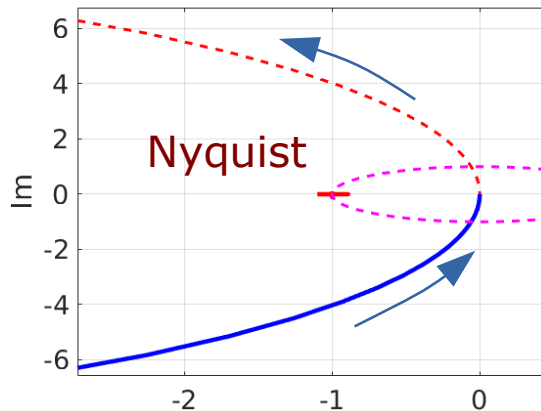
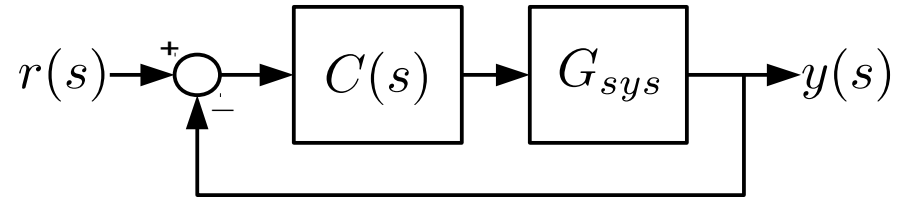
$$-0.5(s+1)$$

$$G_{sys2} = \frac{-0.5(s+1)}{(0.1s+1)(-0.01s+1)}$$

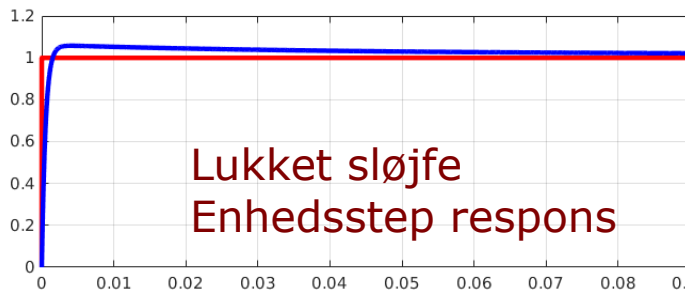
$$\tau_i = 0.04 \quad (\omega_i = 25)$$

$$C_i = \frac{\tau_i s + 1}{\tau_i s} \quad \omega_c = 2000$$

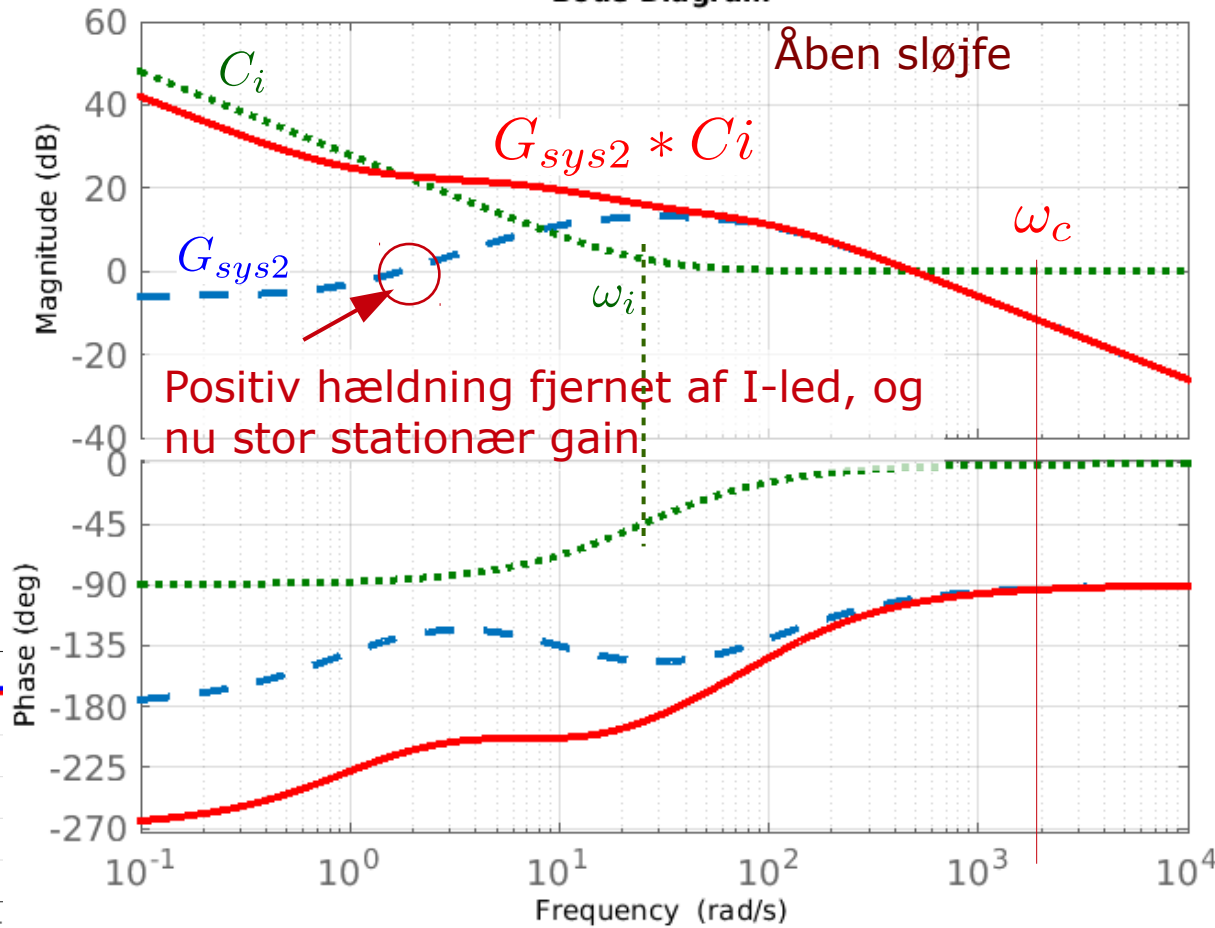
$$K_P = -4$$



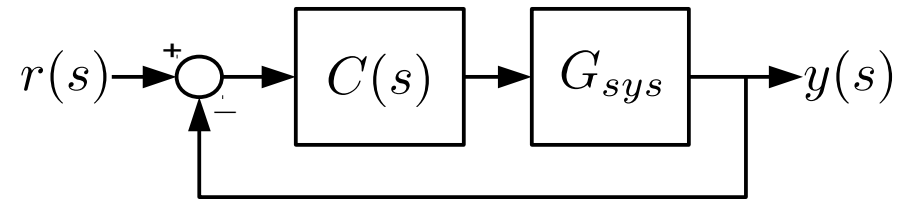
Lukket sløjfe
Enhedsstep respons



Bode Diagram



Regulator design hint for ustabile systemer



- Find systemets overføringsfunktion
- Vurder om K_P skal være negativ
 - Nyquist plot, mod uret en gang for hver pol i højre halvplan.
- På basis af Bodeplot med fortegn fra K_P :
 - Vurder om der er behov for I-led til at fjerne stigende amplitudekurve.
 - Hvis ja, så placer τ_i så amplitudekurve er monotomt faldende (i muligt omfang).
 - Vurder om et D-led (Lead-led) kan forbedre fasemargin og/eller forøge krydsfrekvens ω_c uden at ødelægge den (helst) monotomt faldende amplitude.
 - Vælg en krydsfrekvens og udregn τ_d og endelig den K_P der giver den valgte krydsfrekvens (husk fortegn)
- Test lukket sløjfe.
 - Eventuelt revurder, især D-led (Lead-led) og krydsfrekvens (det er ikke altid en lavere ω_c (og K_P) giver et bedre resultat)

Nu og fremover

- Dagens øvelse: REGBOT Balance
 - Sidste øvelsesvejledning
 - Resultat skal med i REGBOT rapport
- Plan for resten af kurset (lektion og *øvelse*)
 - 11 Forstyrrelser, støj, sensitivitet (*REGBOT balance*)
 - 12 Feed forward, delay (*REGBOT balance – youtube?*)
 - 13 Prøveeksamen (*REGBOT rapport*)