

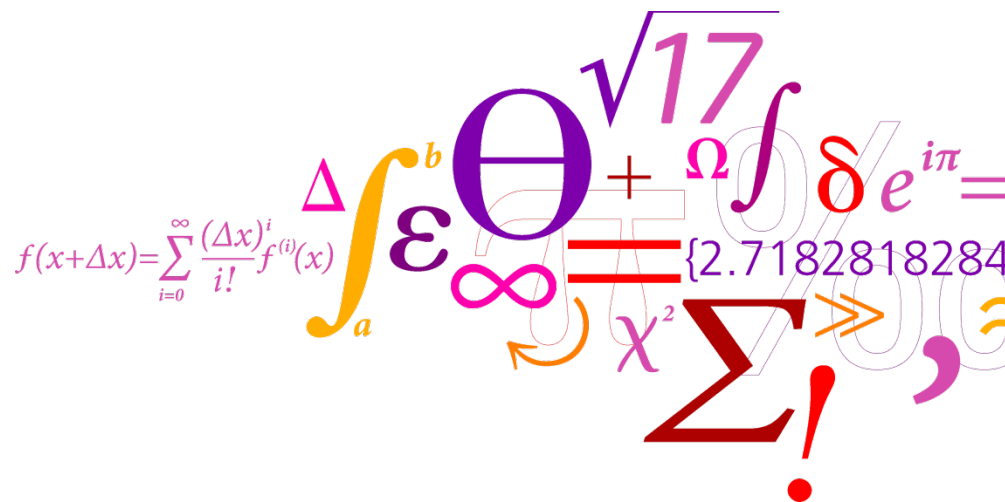
# Reguleringsteknik 1

J. Christian Andersen

Kursusuge 8

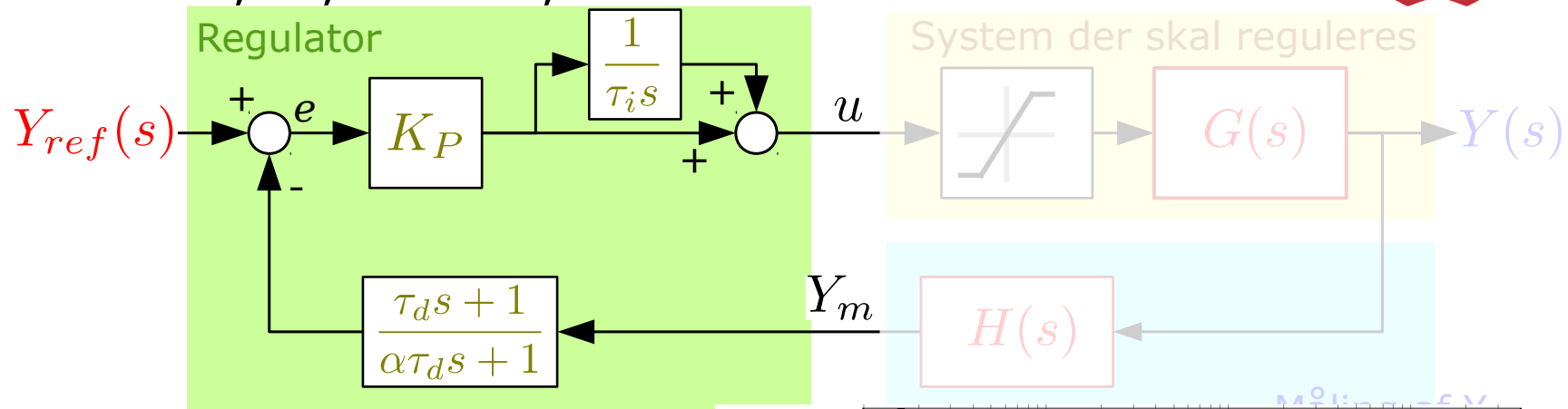
## Plan

- PI-Lead design med fokus på lukket sløjfe
  - Metode, værktøj og resultat
  - Båndbredde
  - Implementering



# Værktøjer

Primært: P, PI, P-Lead, PI-Lead



Formål:  $Y(s) = Y_{ref}(s)$

Stabilitetsmargin

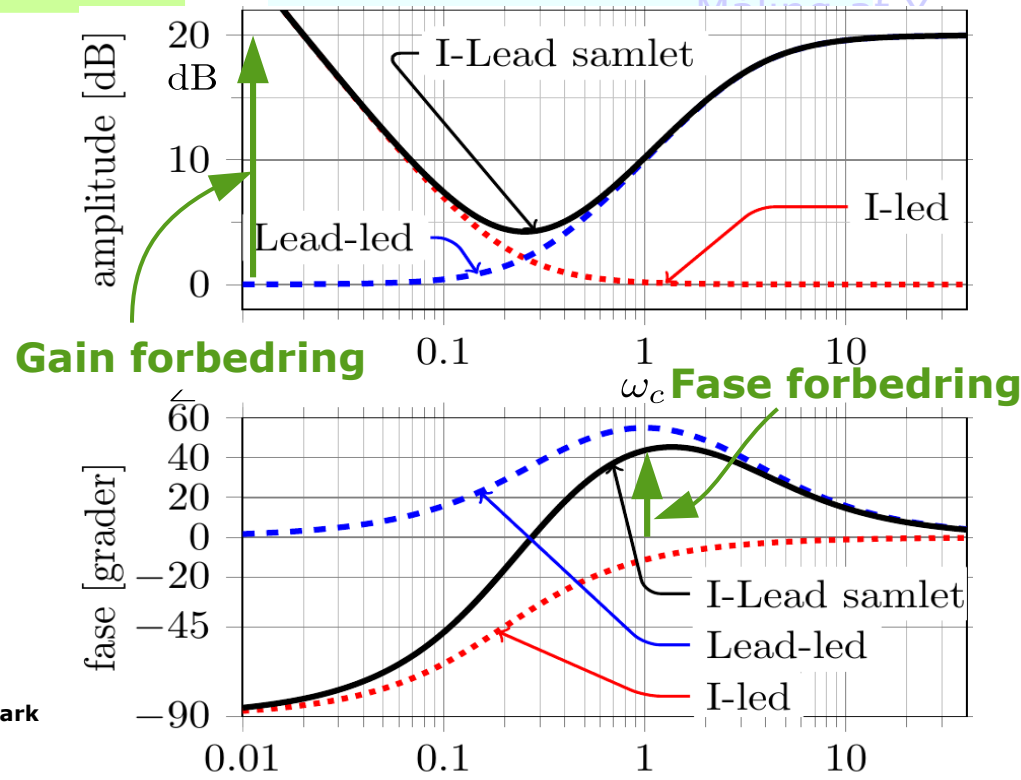
God lukket sløjfe respons

Værktøj:

P:  $K_P$  sikrer krydsfrekvens

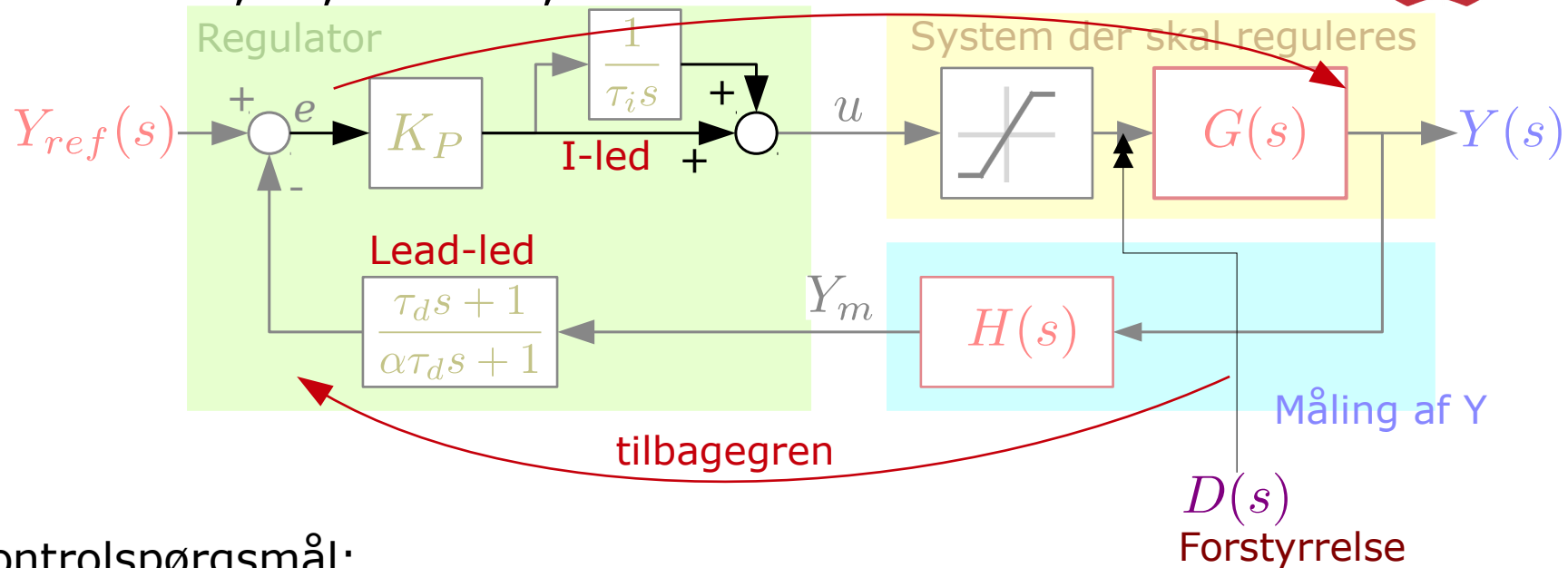
I:  $\tau_i$  placerer I-nulpunkt i frekvens, giver **høj gain** som formindsker stationær fejl.

Lead:  $\tau_d$  placerer Lead i frekvens,  $\alpha$  er størrelse af Lead, giver positiv fasedrejning, **forbedrer fasemargin**  $\gamma_M$ .



# Værktøjer

Primært: P, PI, P-Lead, PI-Lead

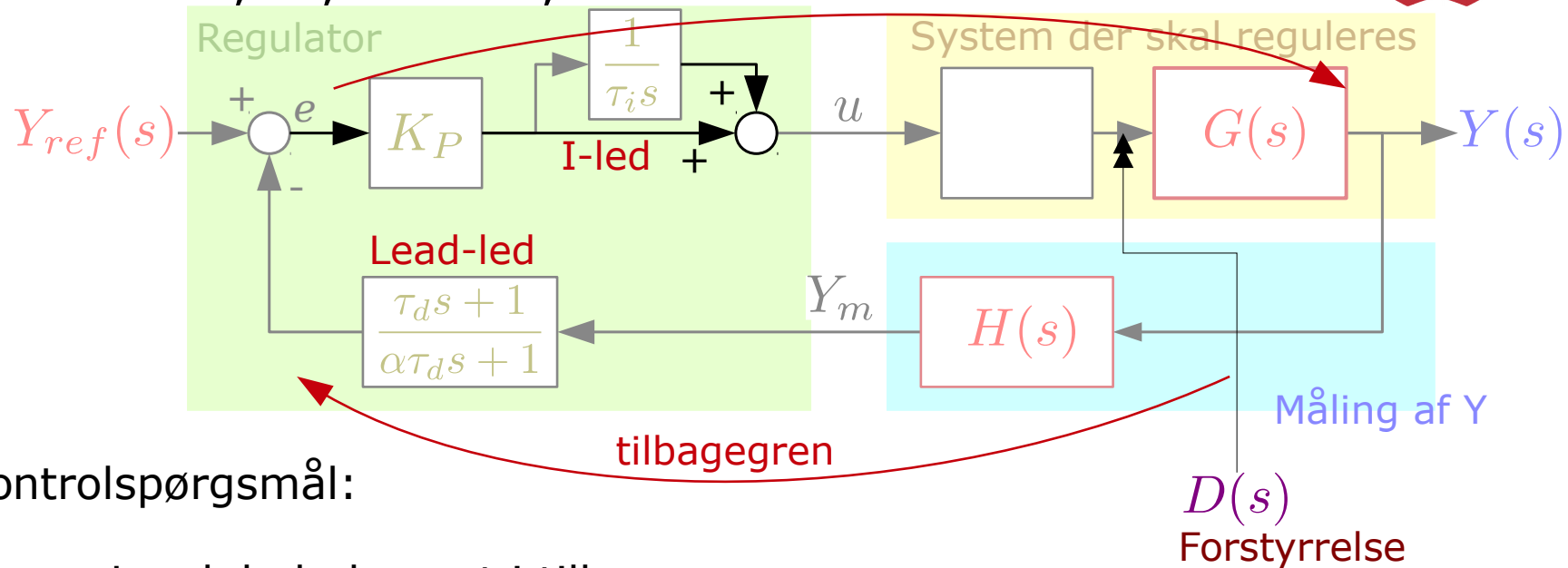


Kontrolspørgsmål:

- Her er Lead-led placeret i tilbagegrenden,
- Har Lead placering betydning for åben sløjfe overføringsfunktion?
  - Har Lead placering betydning for lukket sløjfe overføringsfunktion fra  $Y_{ref}$  til  $Y$ ?
  - Har Lead placering betydning for lukket sløjfe overføringsfunktion fra forstyrrelse  $D$  til  $Y$ ?

# Værktøjer

Primært: P, PI, P-Lead, PI-Lead



Kontrolspørgsmål:

Her er Lead-led placeret i tilbagegrenen,

a) Har Lead placering betydning for åben sløjfe overføringsfunktion?

**Nej.**

b) Har Lead placering betydning for lukket sløjfe overføringsfunktion fra  $Y_{ref}$  til  $Y$ ?

**Ja.**

c) Har Lead placering betydning for lukket sløjfe overføringsfunktion fra forstyrrelse  $D$  til  $Y$ ?

**Nej.**

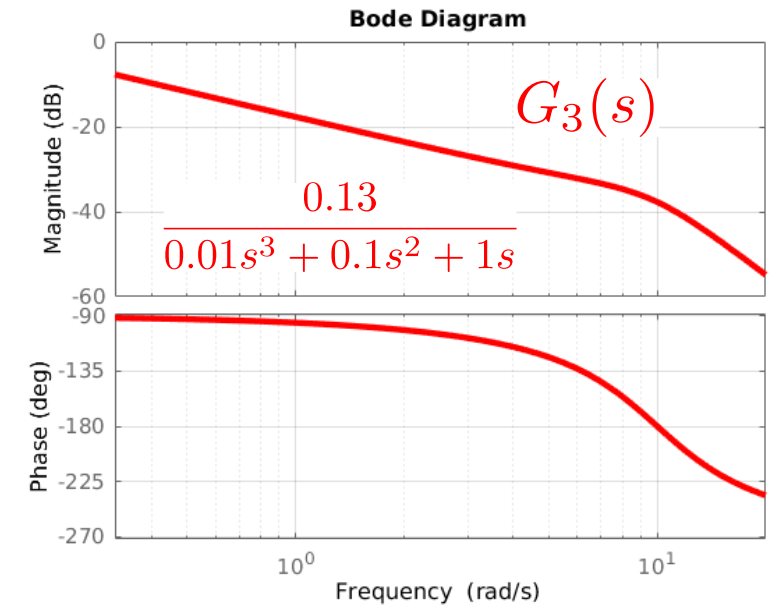
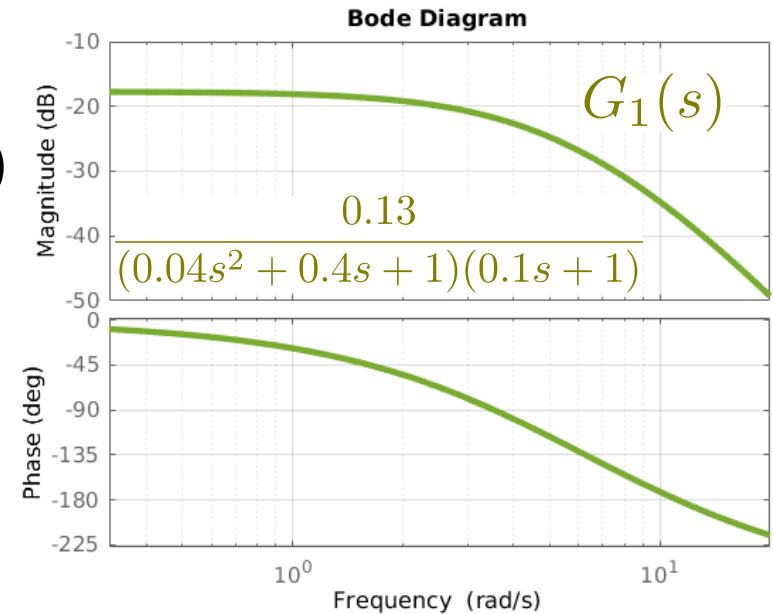
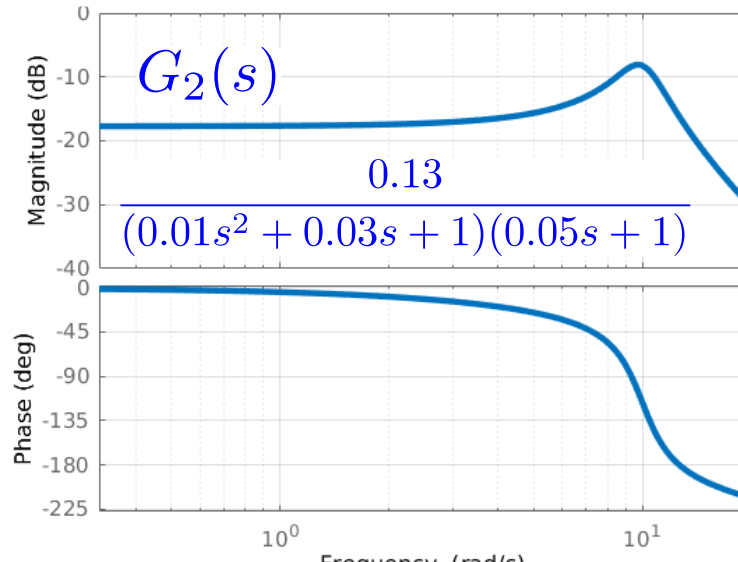
# System vurdering ud fra system bodeplot (altid åben sløjfe uden regulator)

## 2) Vurder bodeplot

G1: Flad gain, rolig fasedrejning mod -180.  
→ Gavn af I-led, gerne lille  $N_i$  god mulighed for forbedring med Lead led

G2: Flad gain med resonans-peak,  
hurtig fasedrejning mod -180.  
→ Gavn af I-led, fare for 2 krydsfrekvenser,  
helst krydsfrekvens højere end peak,  
måske aggressiv Lead (lille  $\alpha$ )

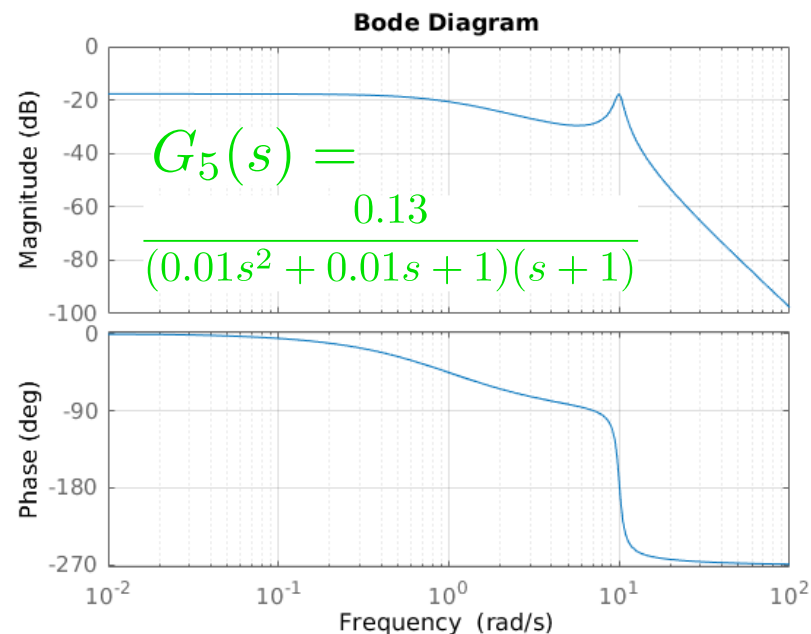
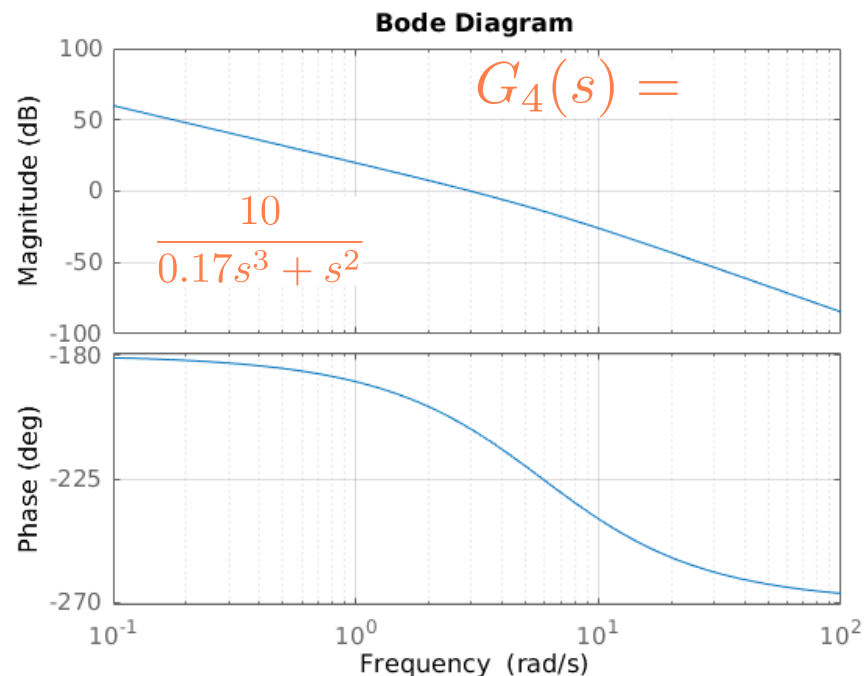
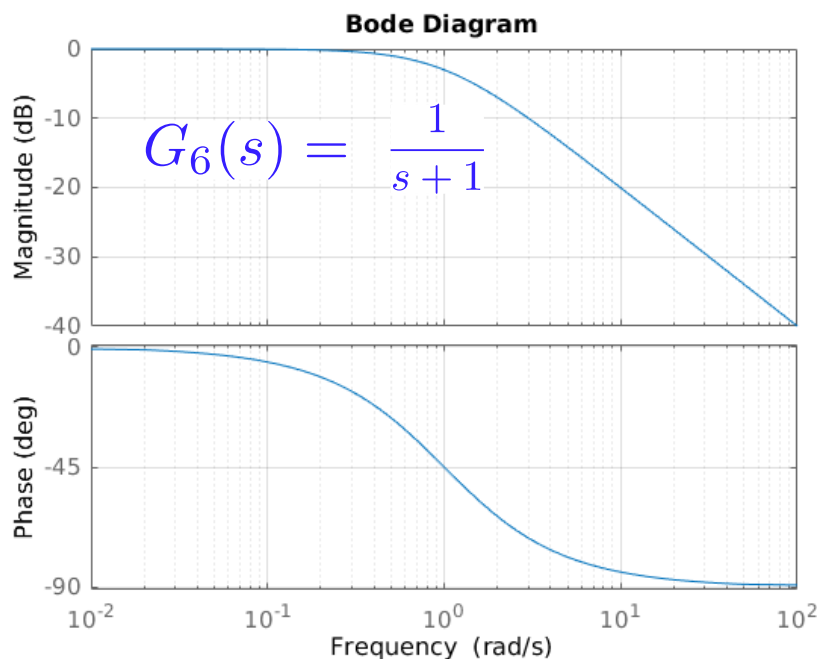
G3: Har høj gain, rolig fasedrejning mod -180.  
→ nok ikke behov for I-led, god mulighed for gavn af Lead led.



# Bodeplot vurdering

## Kontrolspørgsmål

- Har  $G_4$  behov for I-led når Input er et step?
- Kan et Lead-led gøre  $G_4$  stabilt?
- For  $G_5$ , kan et Lead-led gøre at Krydsfrekvens kan placeres over resonanstop?
- Hvis  $G_6$  er korrekt, er der så behov for I-led?, for Lead led?



# Metode

- 3) Vælg  $\alpha$  og  $N_i$  ud fra vurdering
- 3.a) Udregn regulatorens forbedring af fase  $\varphi_i + \varphi_d$  ved ny krydsfrekvens
- 4) Vælg fasemargin  $\gamma_M$  og find i fasedel af bodeplot  $\omega_c$  så:

$$\angle G_{sys}(\omega_c) = -180 + \gamma_M - \varphi_i - \varphi_d$$

- 5) Find den  $K_P$  der sikrer at:

$$|G_a(\omega_c)|_{dB} = 0 \text{ dB}$$

$$G_a = K_P \cdot C_i \cdot C_d \cdot G_{sys}$$

- 2) Vurdering: Flad gain med resonans-peak, hurtig fasedrejning mod -180 grader.  
→ Gavn af I-led, fare for 2 krydsfrekvenser, helst krydsfrekvens højere end peak, måske aggressiv Lead (lille  $\alpha$ )

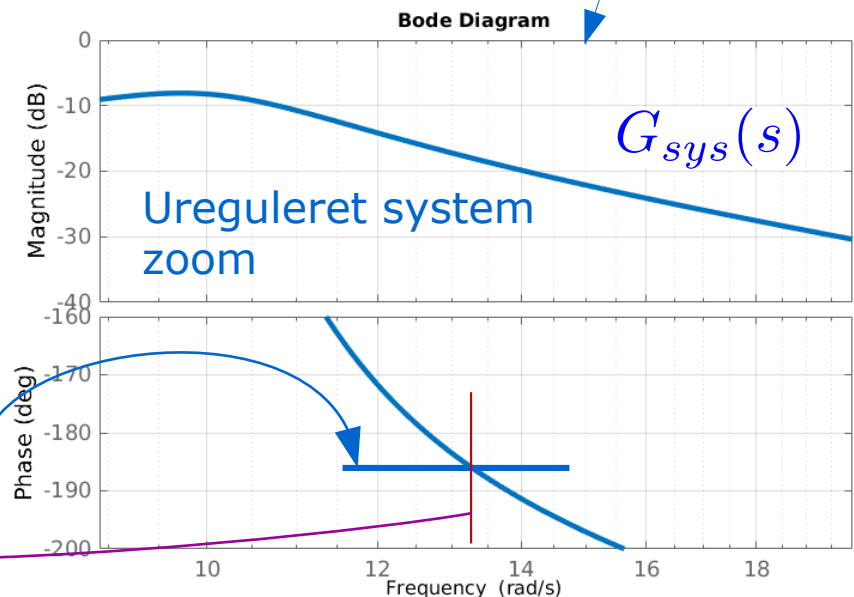
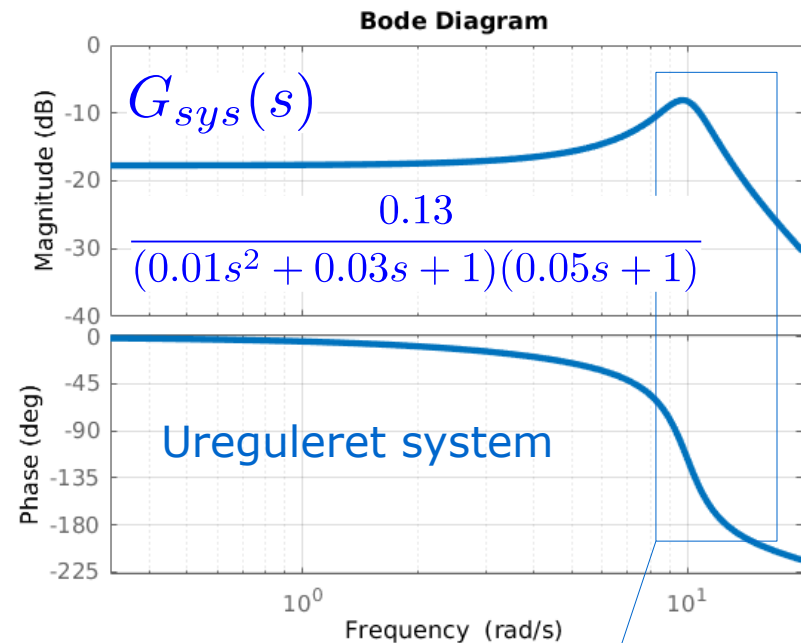
- 3)  $N_i = 3$ ,  $\alpha = 0.1 \Rightarrow$

- 3.a)  $\varphi_i = -18.5^\circ$ ,  $\varphi_d = +55^\circ$

- 4)  $\gamma_M = 30^\circ \Rightarrow$

$$\angle G_{sys}(\omega_c) = -180 + 30 + 18.5 - 55^\circ = -186.5$$

$$\Rightarrow \omega_c = 13.3 \text{ rad/sek}$$



# Metode

$$\frac{0.13}{(0.01s^2 + 0.03s + 1)(0.05s + 1)}$$



- 3) Vælg  $\alpha$  og  $N_i$  ud fra vurdering
- 3.a) Udregn regulatorens forbedring af fase  $\varphi_i + \varphi_d$  ved ny krydsfrekvens
- 4) Vælg fasemargin  $\gamma_M$  og find i fasedel af bodeplot  $\omega_c$  så:

$$\angle G_{sys}(\omega_c) = -180 + \gamma_M - \varphi_i - \varphi_d$$

- 5) Find den  $K_P$  der sikrer at:

$$|G_{\hat{a}}(\omega_c)|_{dB} = 0 \text{ dB}$$

$$G_{\hat{a}} = K_P \cdot C_i \cdot C_d \cdot G_{sys}$$

$$N_i = 3, \alpha = 0.1, \gamma_M = 30^\circ, \omega_c = 13.3 \text{ rad/sek}$$

$$\tau_i = \frac{N_i}{\omega_c} \quad \tau_d = \frac{1}{\omega_c \sqrt{\alpha}}$$

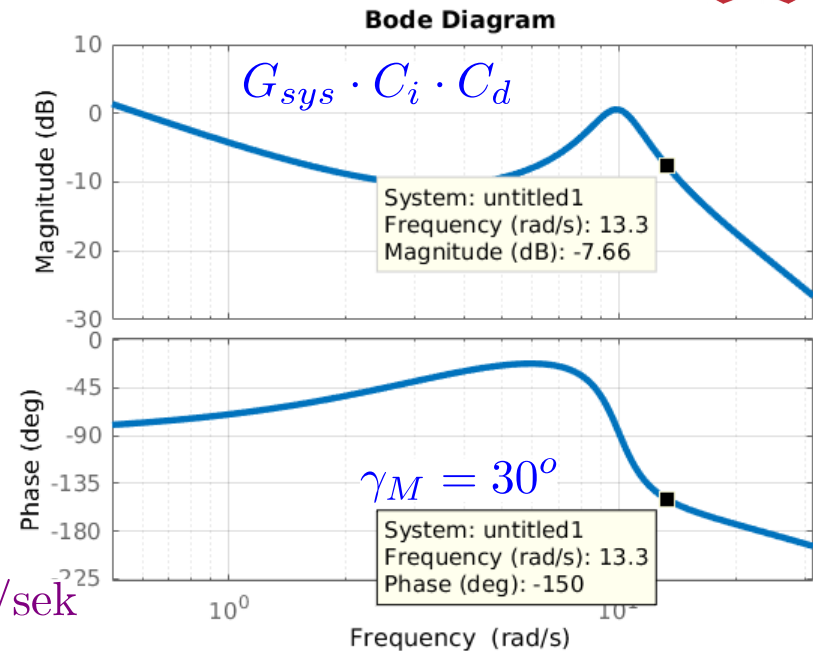
- 5) find  $C_i$  og  $C_d$  der indgår i  $G_{\hat{a}}$  :

$$C_i(s) = \frac{\tau_i s + 1}{\tau_i s} \quad C_d(s) = \frac{\tau_d s + 1}{\alpha \tau_d s + 1}$$

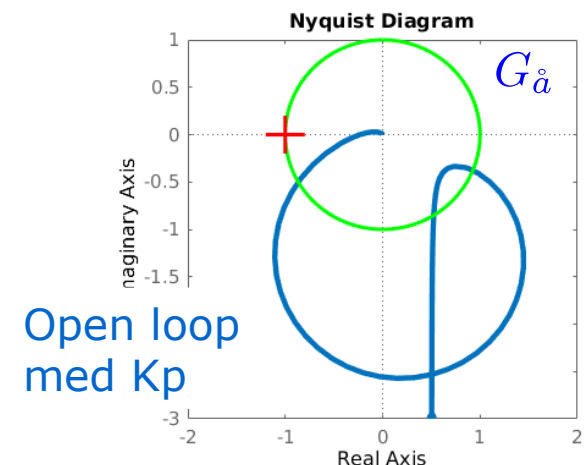
Nyt bodeplot med  $C_i$  og  $C_d$ , find her  $K_P$ , så

$$|G_{\hat{a}}(\omega_c)|_{dB} = 0 \text{ dB} \Rightarrow K_P = 7.66 \text{ dB} \Rightarrow K_P = 2.4$$

Open loop – uden  $K_P$



5.a) Check stabilitet





$$\frac{0.13}{(0.01s^2 + 0.03s + 1)(0.05s + 1)}$$

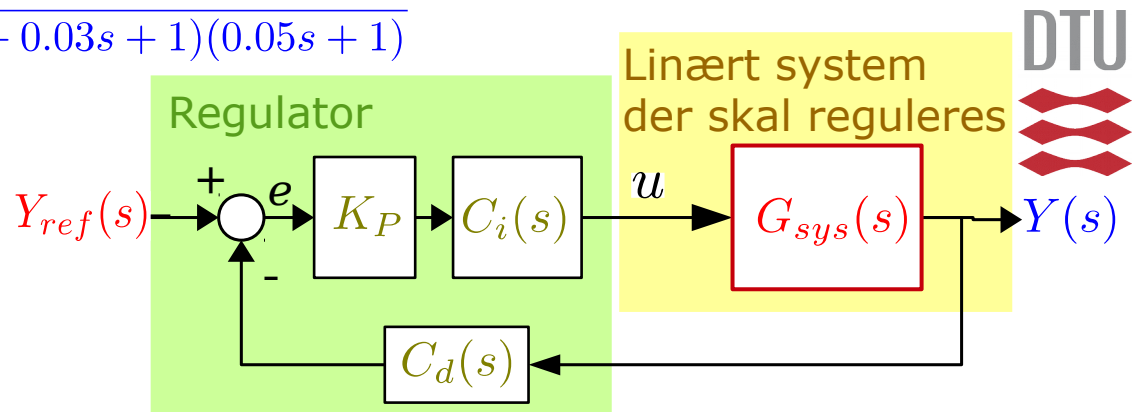
# Vurder resultat

6) Vurder lukket sløjfe

$$G_{cl} = \frac{K_P \cdot C_i \cdot G_{sys}}{1 + G_{\dot{a}}}$$

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

$$G_{\dot{a}} = K_P \cdot C_i \cdot C_d \cdot G_{sys}$$



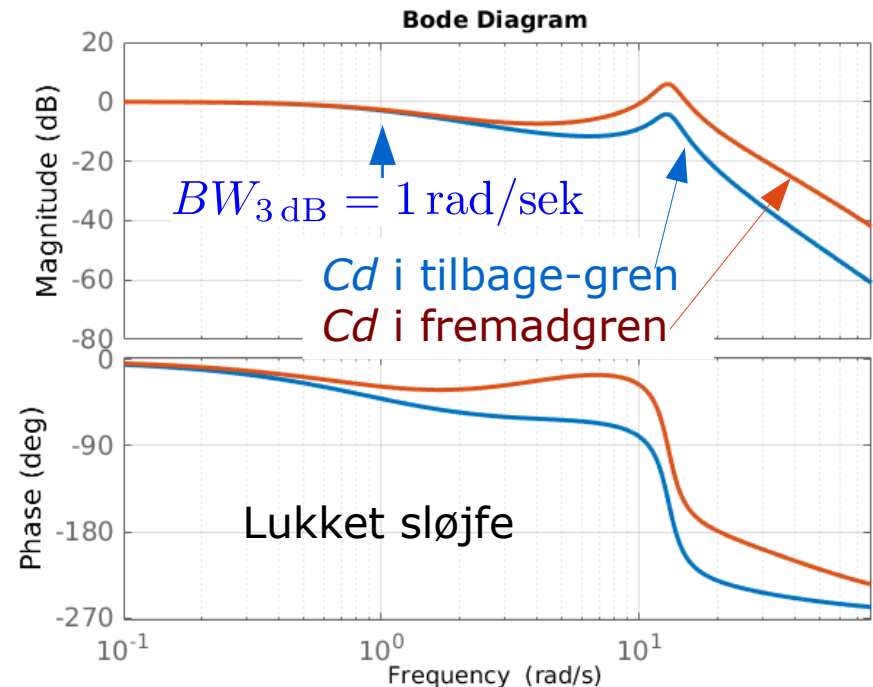
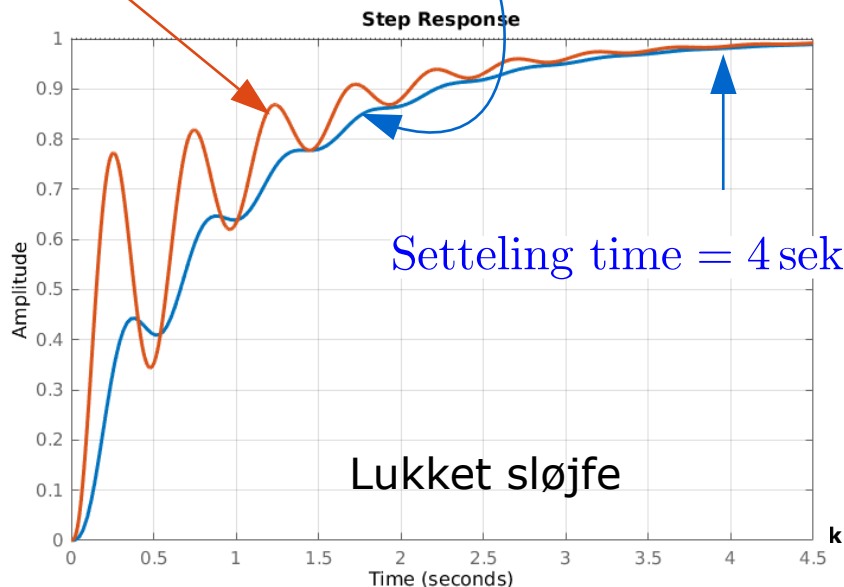
$$N_i = 3, \alpha = 0.1$$

$$\gamma_M = 30^\circ$$

$$\omega_c = 13.3 \text{ rad/sek}$$

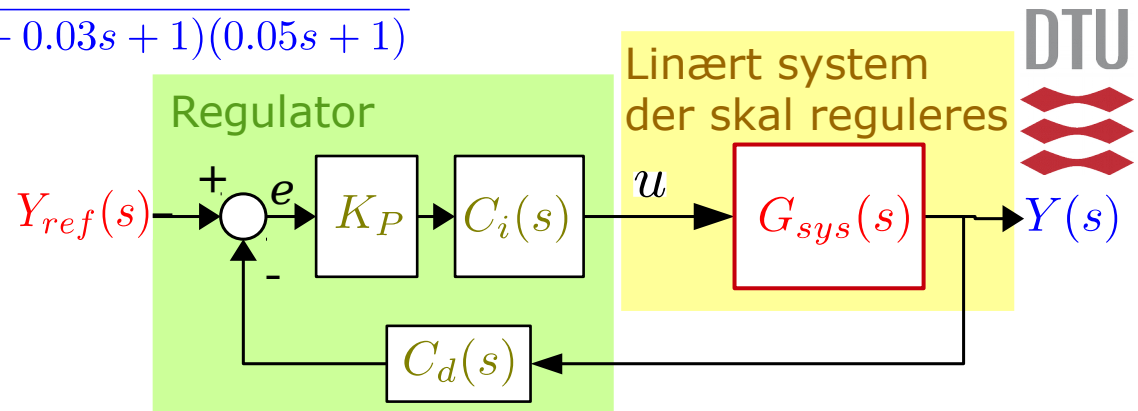
$$G_{cl} = \frac{K_P \cdot C_i \cdot G_{sys}}{1 + G_{\dot{a}}}$$

6)  $C_d$  i tilbage-gren  
 $C_d$  i fremadgren



## Vurder resultat

7) Vurder også styresignalet  $u$ , da der normal er grænser for amplituden af  $u$ .



8) Hvis ikke OK, så gå tilbage til 3) eller 4)

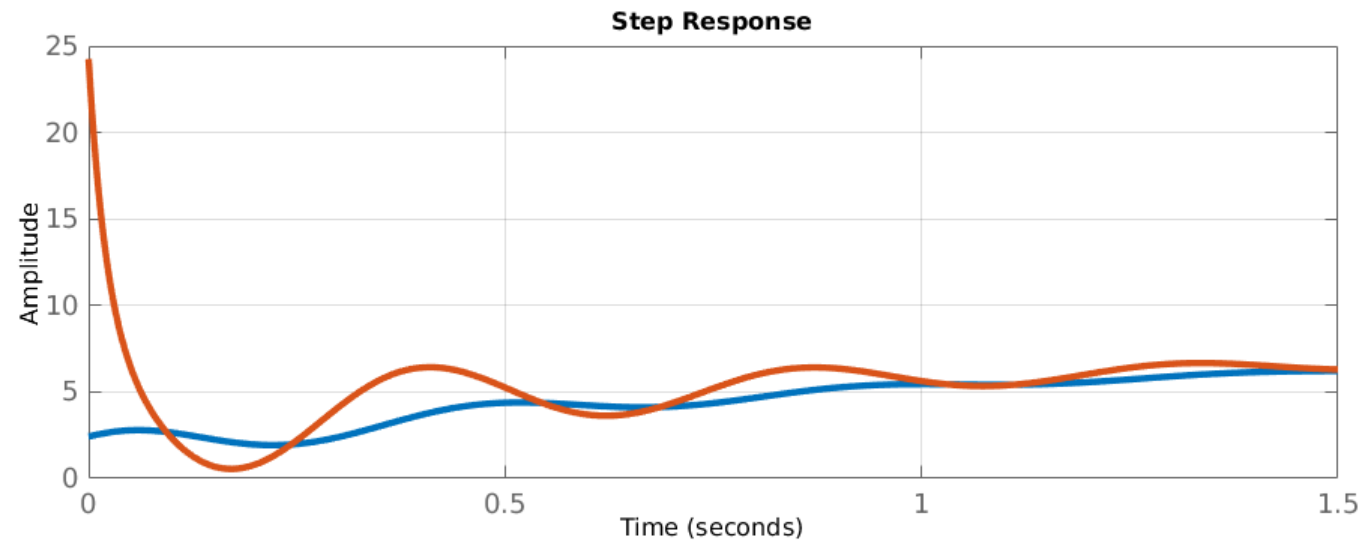
7) Enhedstrin respons  $C_d$  i tilbage-gren

$$G_{ut} = \frac{K_p C_i}{1 + G_a}$$

$C_d$  i fremadgren

$$G_{uf} = \frac{K_p C_i C_d}{1 + G_a}$$

Lead i fremadgren er giver stort styresignal ( $u$ ), men er kun relevant hvis  $Y_{ref}$  skifter tit.



# Vurdering af resultat

Kontrolspørgsmål:

- 1) Giver en lavere krydsfrekvens en lavere båndbredde?
- 2) Giver en lavere båndbredde en langsommere indsvingningstid?
- 3) Giver en hurtigere indsvingningstid et kraftigere styresignal ( $u$ )?

# Vurdering af resultat

Kontrolspørgsmål:

1) Giver en lavere krydsfrekvens en lavere båndbredde?

Generelt Ja.

2) Giver en lavere båndbredde en langsommere indsvingningstid?

Generelt Ja.

3) Giver en hurtigere indsvingningstid et kraftigere styresignal ( $u$ )?

Generelt Ja.

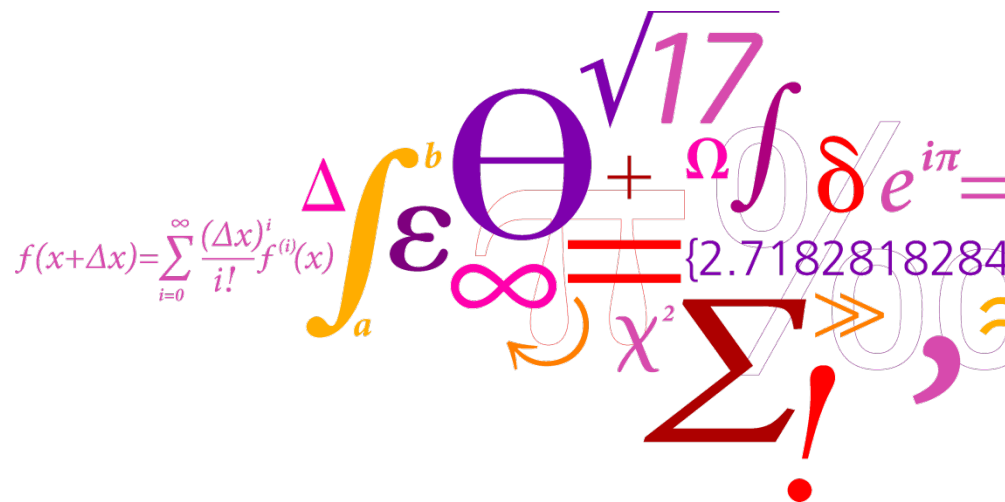
# Reguleringsteknik 1

J. Christian Andersen

Kursusuge 8

## Plan

- Båndbredde og open loop bodeplot
- Implementering



# Krydsfrekvens og Båndbredde

For **G4** er designet en P-Lead regulator

$$\alpha = 0.1, \gamma_M = 40$$

$$\Rightarrow \omega_c = 1.56, K_P = 0.08$$

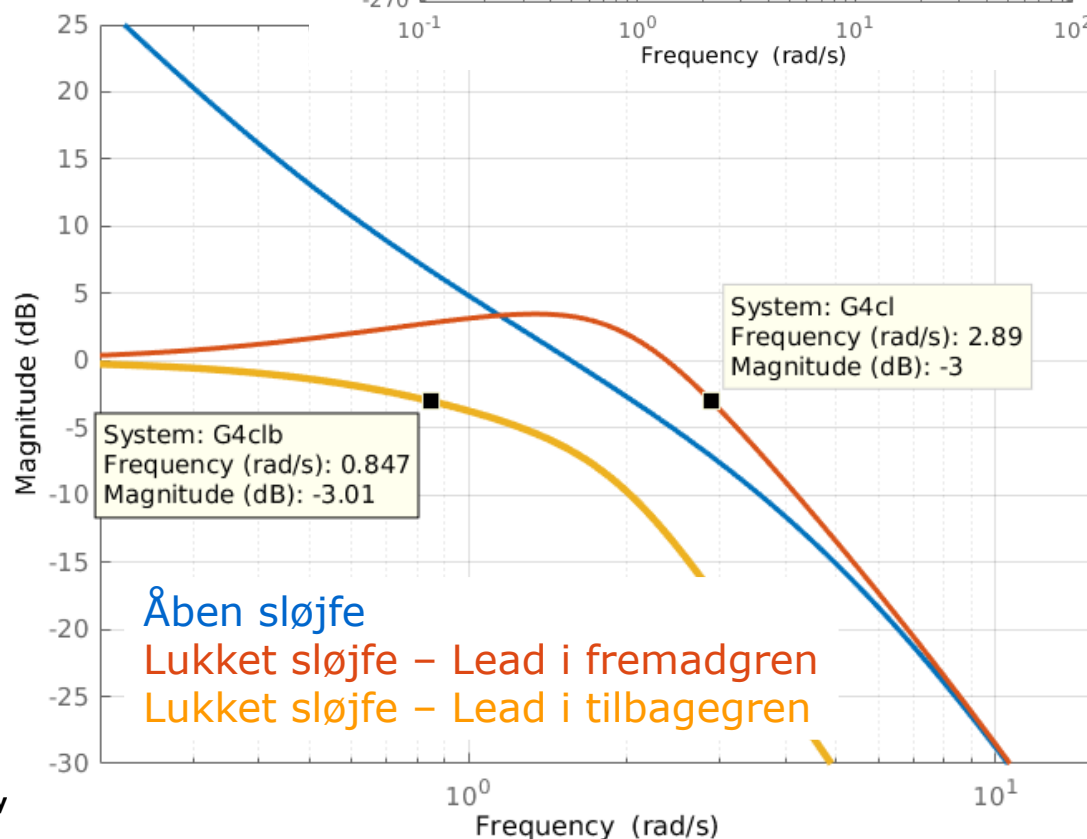
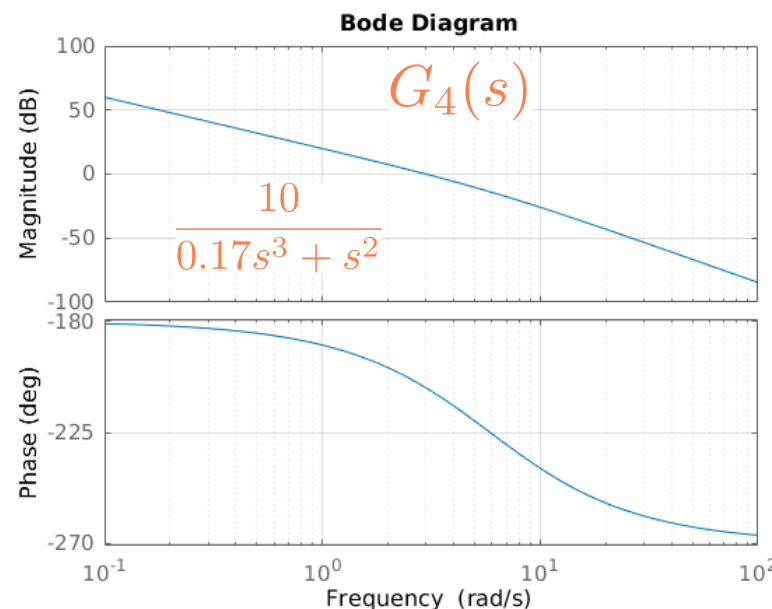
Bodeplot af åben og lukket sløjfe (kun amplitudedel)

Her ses båndbredde  
Lead i fremadgren:

$$BW_{3\text{dB}} = 2.89 \text{ rad/sek}$$

Lead i tilbagegren:

$$BW_{3\text{dB}} = 0.85 \text{ rad/sek}$$



# Krydsfrekvens og Båndbredde

For **G5** er designet en PI regulator

$$N_i = 1, \gamma_M = 50$$

$$\Rightarrow \omega_c = 10, K_P = 5.4$$

For at mindske resonanspeak er  $K_P$  reduceret

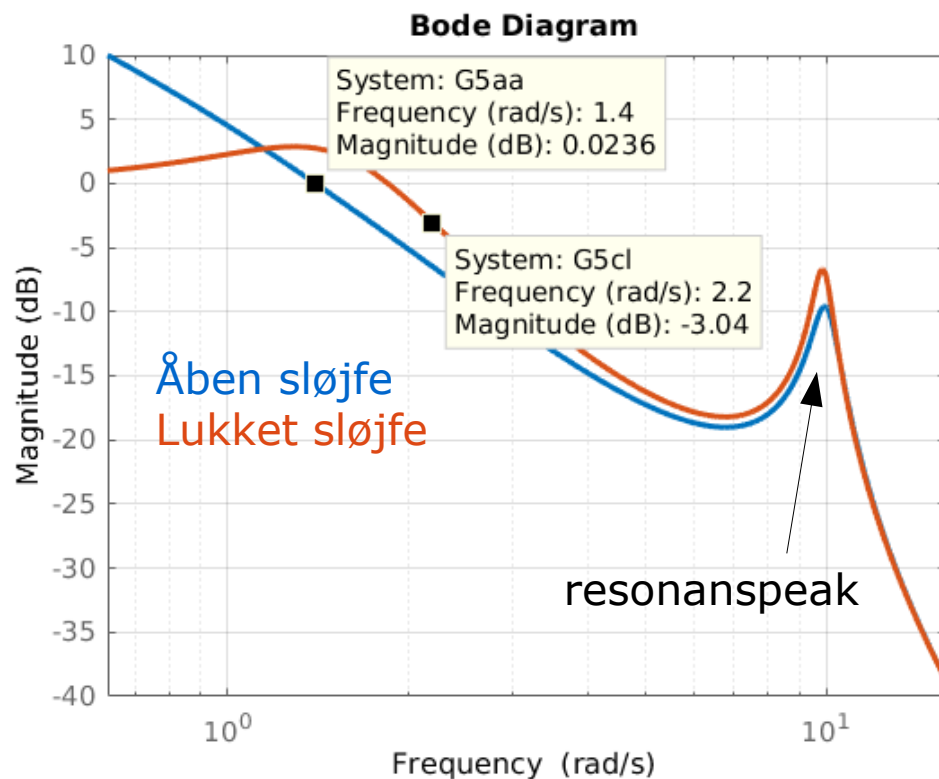
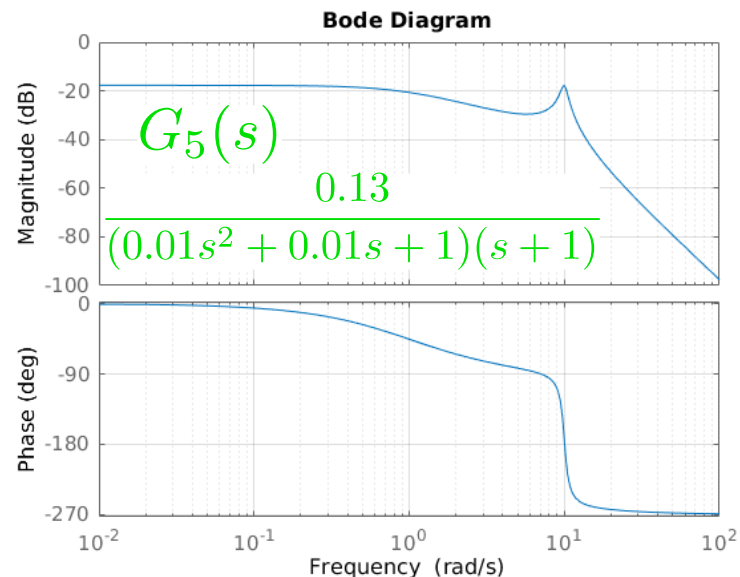
$$\Rightarrow \omega_c = 1.4, K_P = 1.8$$

Bodeplot af åben og lukket sløjfe (kun amplitudedel)

Her ses båndbredde

$$\omega_c = 1.4 \text{ rad/sek}$$

$$BW_{3\text{dB}} = 2.2 \text{ rad/sek}$$



# Krydsfrekvens og Båndbredde

For **G6** er designet en P regulator, da fasedrejning ikke kommer under -90 grade kan  $K_p$  vælges vilkårligt højt

$$K_P = 100$$

$$\Rightarrow \omega_c = 100 \text{ rad/sek}$$

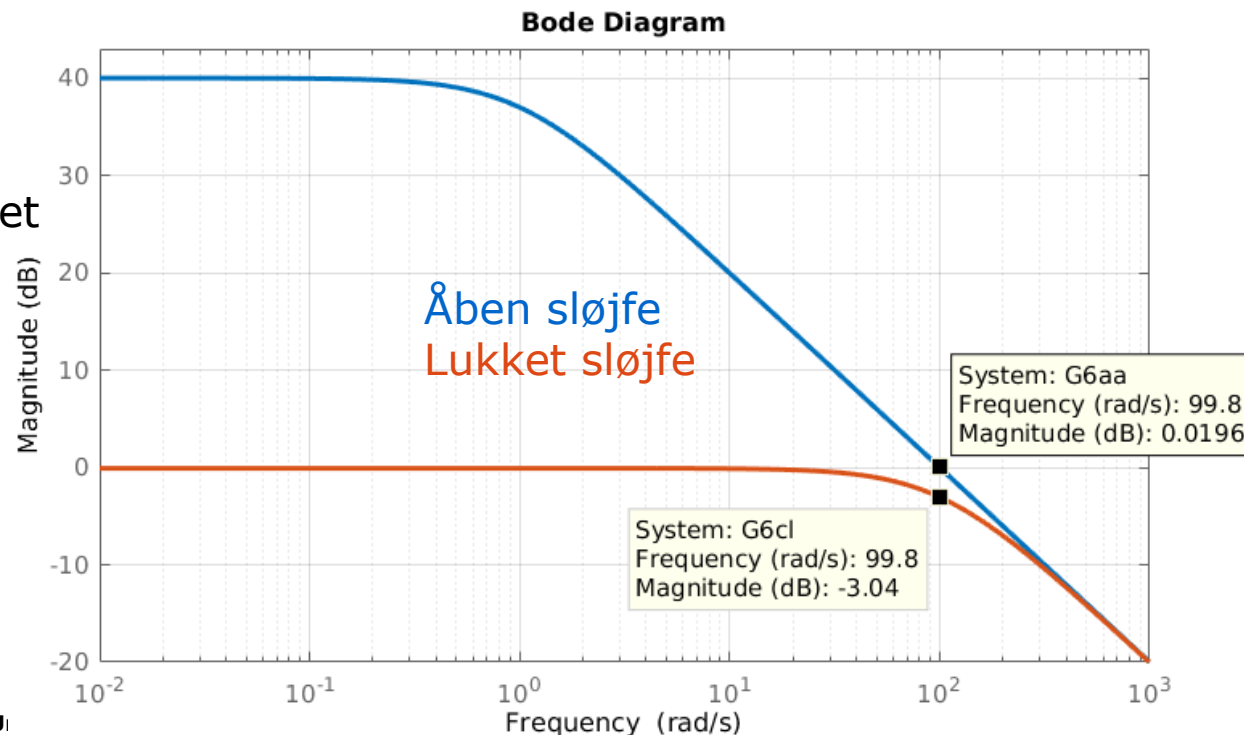
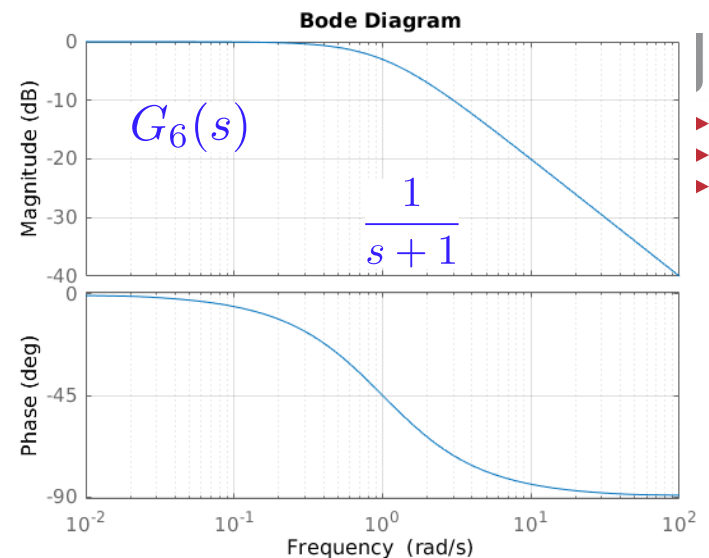
Bodeplot af åben og lukket sløjfe (kun amplitudedel)

Her ses båndbredde

$$BW_{3\text{dB}} = 100.7 \text{ rad/sek}$$

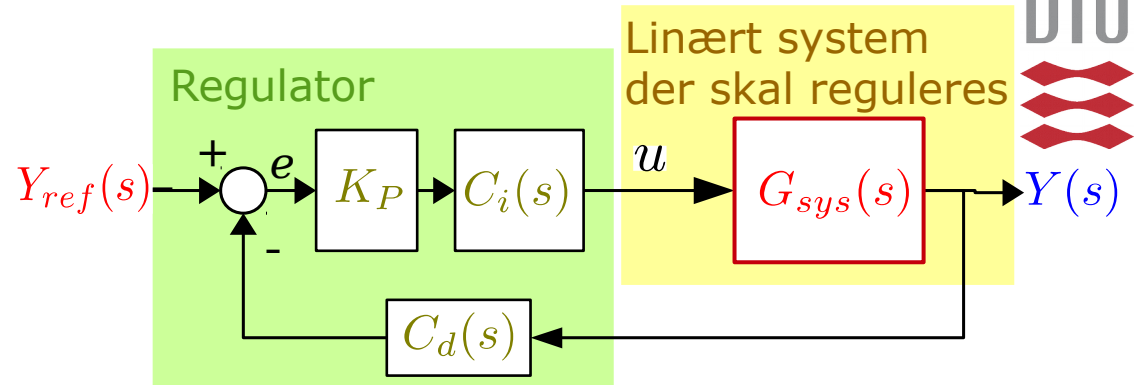
her

$$BW_{3\text{dB}} \approx \omega_c$$





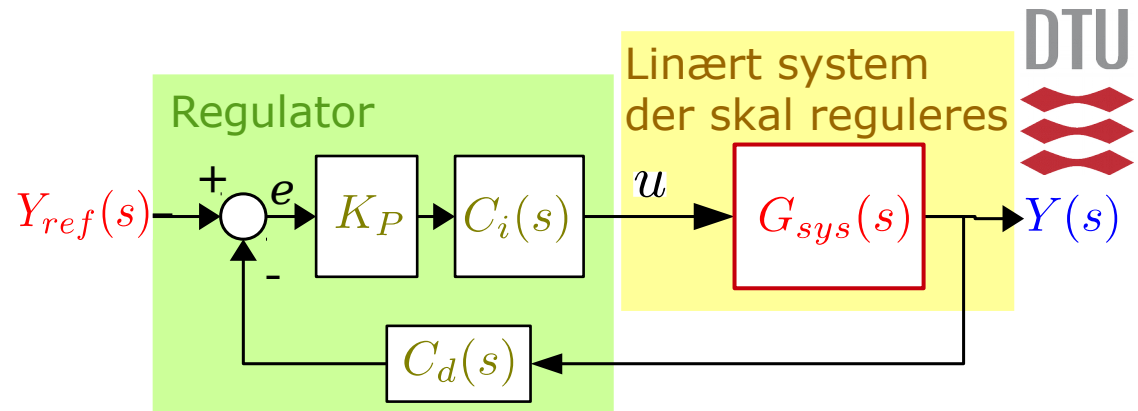
# Båndbredde



Kontrolspørgsmål:

- a) Starter et bodeplot for et lukket sløjfe reguleringssystem altid i 0 dB?
- b) Er Båndbredde i lukket sløjfe, er det samme som krydsfrekvens i åben sløjfe?
- c) Vil Båndbredde i lukket sløjfe følge med åben sløjfe krydsfrekvens?
- d) Har placering af Lead led (fremadgren eller tilbagegren) betydning for lukket sløjfe båndbredde?

# Båndbredde



Kontrolspørgsmål:

- a) Starter et bodeplot for et lukket sløjfe reguleringssystem altid i 0 dB?

Nej, ikke hvis der er en statisk fejl (men typisk tæt på)

- b) Er Båndbredde i lukket sløjfe, er det samme som krydsfrekvens i åben sløjfe?

Nej

- c) Vil Båndbredde i lukket sløjfe følge med åben sløjfe krydsfrekvens?

Ja normalt, forøget krydsfrekvens give øget båndbredde.

- d) Har placering af Lead led (fremadgren eller tilbagegren) betydning for lukket sløjfe båndbredde?

Ja normalt, højere BW med Lead i fremadgrenen