

# ***Øvelse 3***

## ***Optimering af Blackbox***

Jonas Lind	201507296
Tais Hjortshøj	201509128
Marcus Andersen	201508863

## Øvelsesobjektet

Øvelsesobjektet består af den Blackbox, hvis model blev udmålt i en tidligere øvelse. Tillige benyttes en Control box med P-I-D indstillinger, samt oscilloscope og funktionsgenerator.

## Formål

- at opbygge et reguleringssystem, hvor Blackbox'en indgår i en lukket sløjfe.
- ud fra givne dynamiske og statiske systemkrav, at dimensionere en P-, en PD- og en PI- regulator.
- i laboratoriet at afprøve virkningen af en P-, en PD- og en PI- regulator.

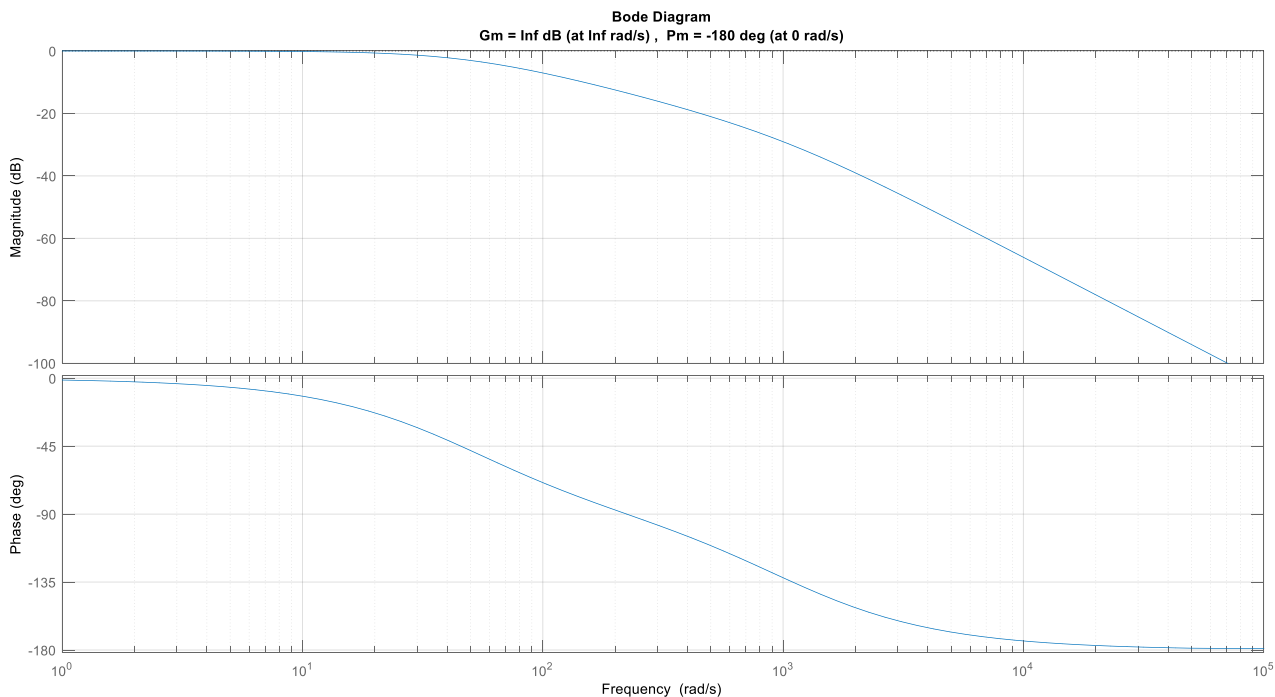
## Forberedelse

I en tidligere øvelse, er udmålt en model for Blackbox-processen. Der vil naturligvis være forskel på resultaterne, men fremover benyttes:

$$G(s) = \frac{50000}{(s+50)(s+1000)}$$

## Matlab beregninger

a) Afbild systemets amplitude- og fase karakteristik. Skal bruges ved dimensioneringen af de forskellige regulatorer.



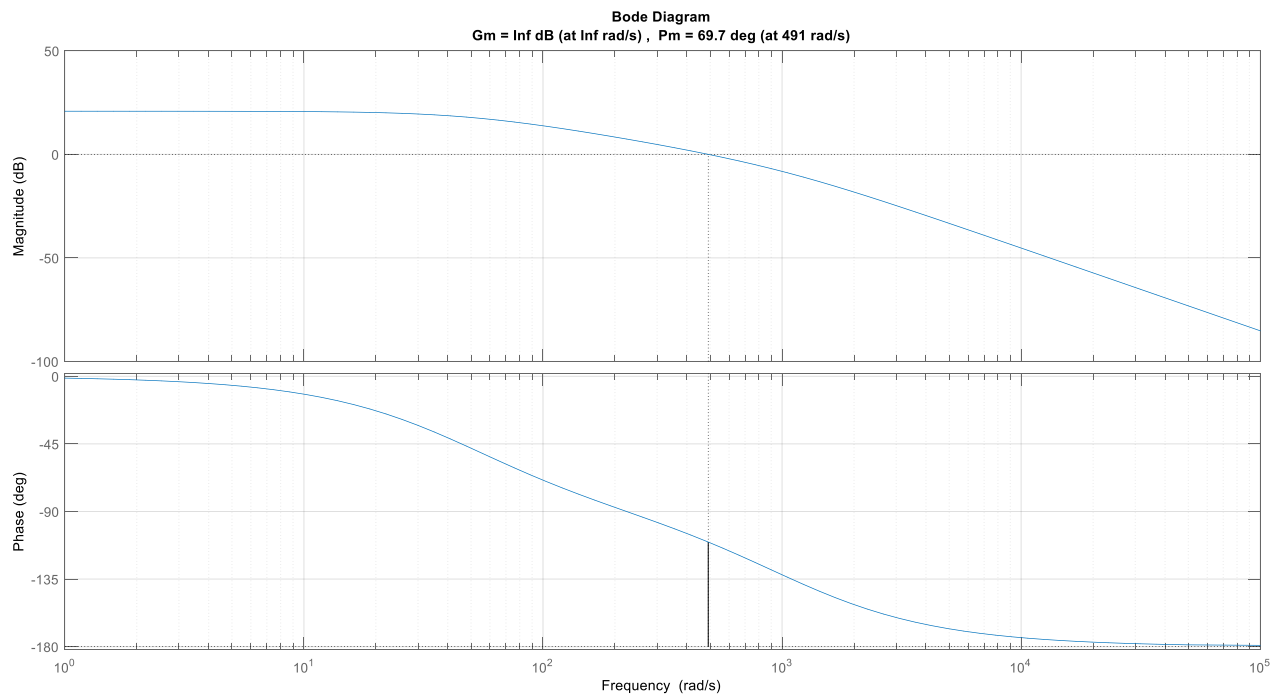
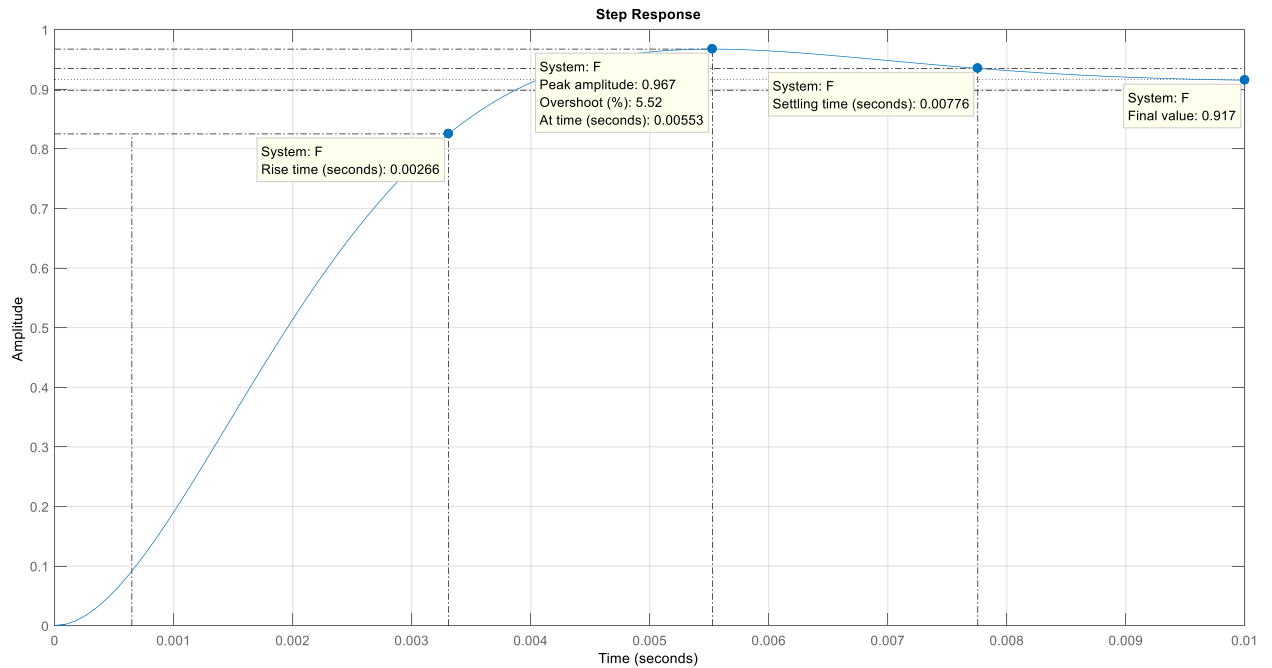
Figur 1 - Bodeplot af  $G(s)$ ,  $K_p = 1$ .

- b)  $G(s)$  reguleres med en proportionalregulator ( $G_c(s) = K_p$ ). Bestem ved simulering af lukket-sløjfen, den  $K_p$ -værdi, der giver 5% oversving for et stepinput.

Bestem ud fra stepresponsen systemets stationære fejl og opvoksningstiden  $T_r$ .

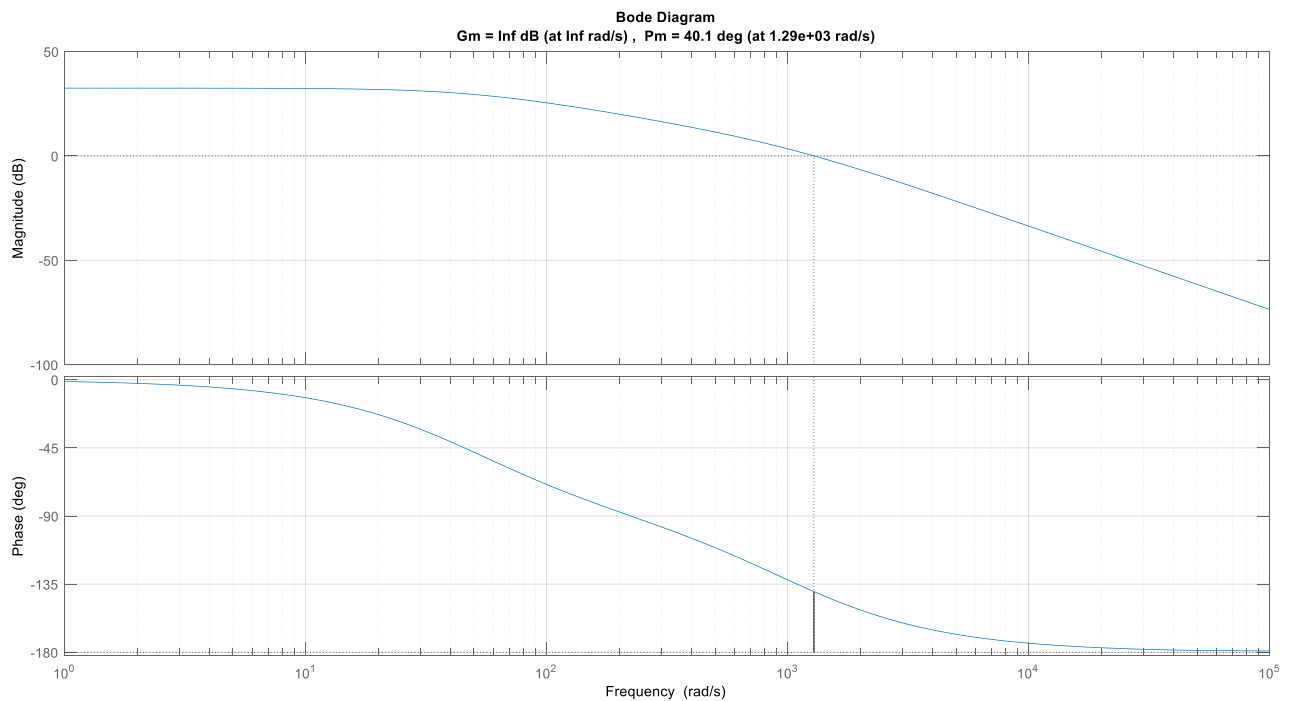
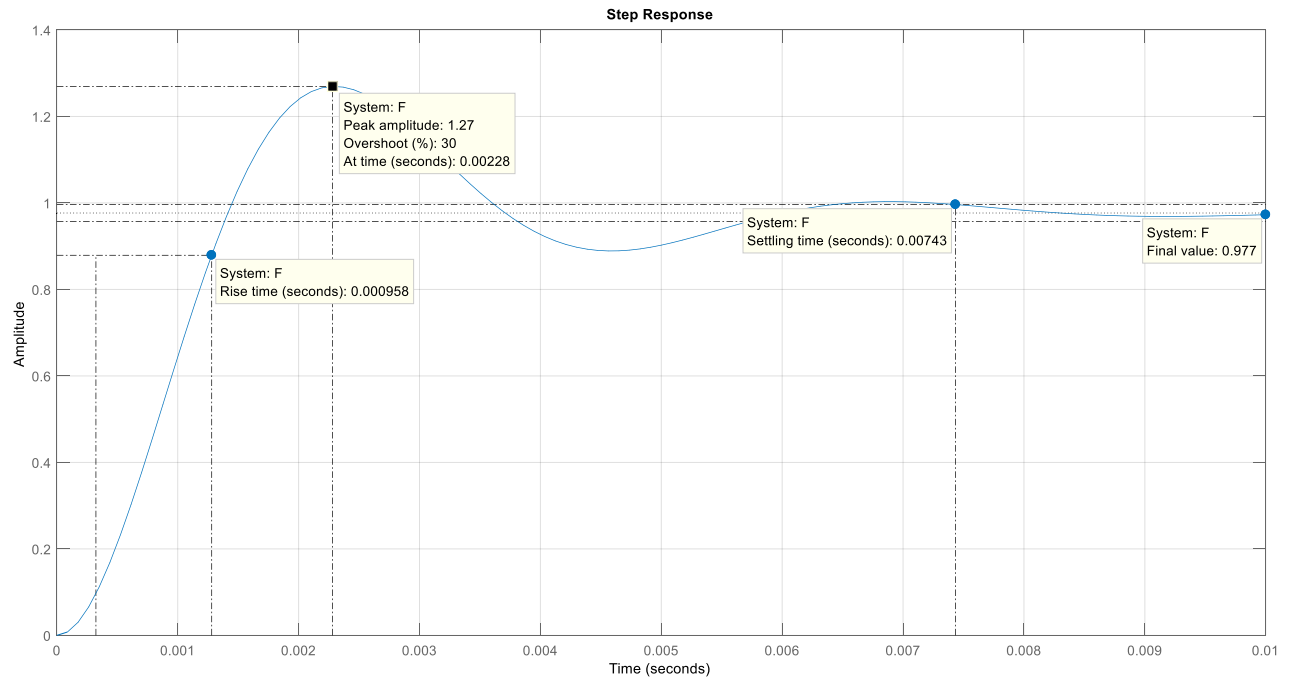
Kontroller ved hjælp af amplitude og fasekarakteristik, at den fundne værdi af  $K_p$  stemmer overens med vore åben-sløjfe designregler. Bestem  $\omega_{\phi m}$  og  $\phi_m$ .

$$K_p = 11$$



c) Gentag b), men nu til 30% oversving.

$K_p = 42$



Dimensioner nu en Lead-regulator, der reducerer oversvinget til 5% med samme  $\omega_{\phi m}$  (samme båndbredde). Bestem systemets stationære fejl og opvoksningstiden. Eftervis resultatet i Matlab.

Fasemarginen ved 30% OS var 40,1 grader. Fasemarginen ved 5% OS var 69,7 grader

Når %OS bliver mindre så bliver fasemarginen større. Det kan derfor beregnes hvor meget mere fasemargin der skal være fra de 30% OS til de 5% OS.

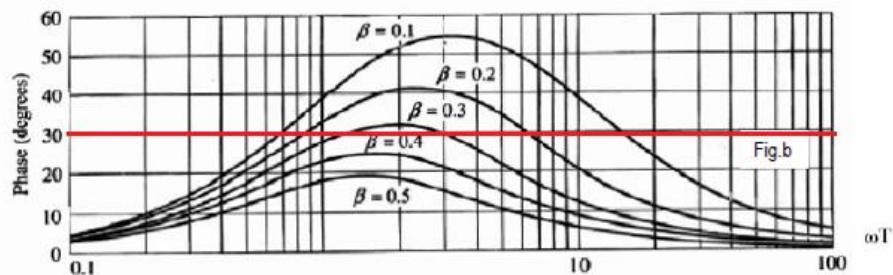
$$\phi_{m+} = \phi_{m5\%OS} - \phi_{m30\%OS} = 69,7 - 40,1 = 29,6$$

Hvilket er så meget fasemarginen skal forøges for at få ca. 5% OS.

$\beta$  kan herved findes ved at indsætte  $\phi_{m+}$  i formelen

$$\beta = \frac{1 - \sin(\phi_{m+})}{1 + \sin(\phi_{m+})} = 0,34$$

Eller ved at anvende kurven fra dokumentet Analysis- and Design Procedure



Herefter skal T findes ud fra formelen

$$\omega_{\phi m} = \omega_{max} = \frac{1}{T\sqrt{\beta}}$$

$$T = \frac{1}{\omega_{\phi m}\sqrt{\beta}} = 0,0013$$

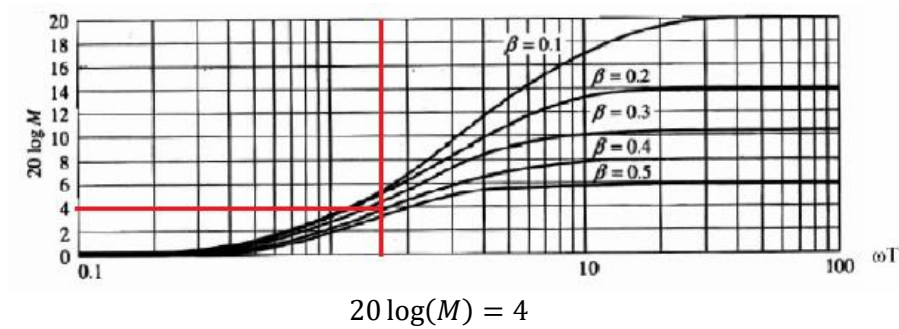
T afgør placeringen af toppen for  $\beta$  (fasebølen).

Den samlede forstærkning skal reguleres, sådan at processen sammen med regulatoren har forstærkningen 1, dvs. går gennem 0 dB ved fasemarginfrekvensen  $\omega_{\phi m}$ .

Forstærkningsbidrag fra LEAD'en kan nu findes grafisk ud fra følgende sammenhænge

$$T * \omega_{\phi m} = 0,0013 * 1290 = 1,68$$

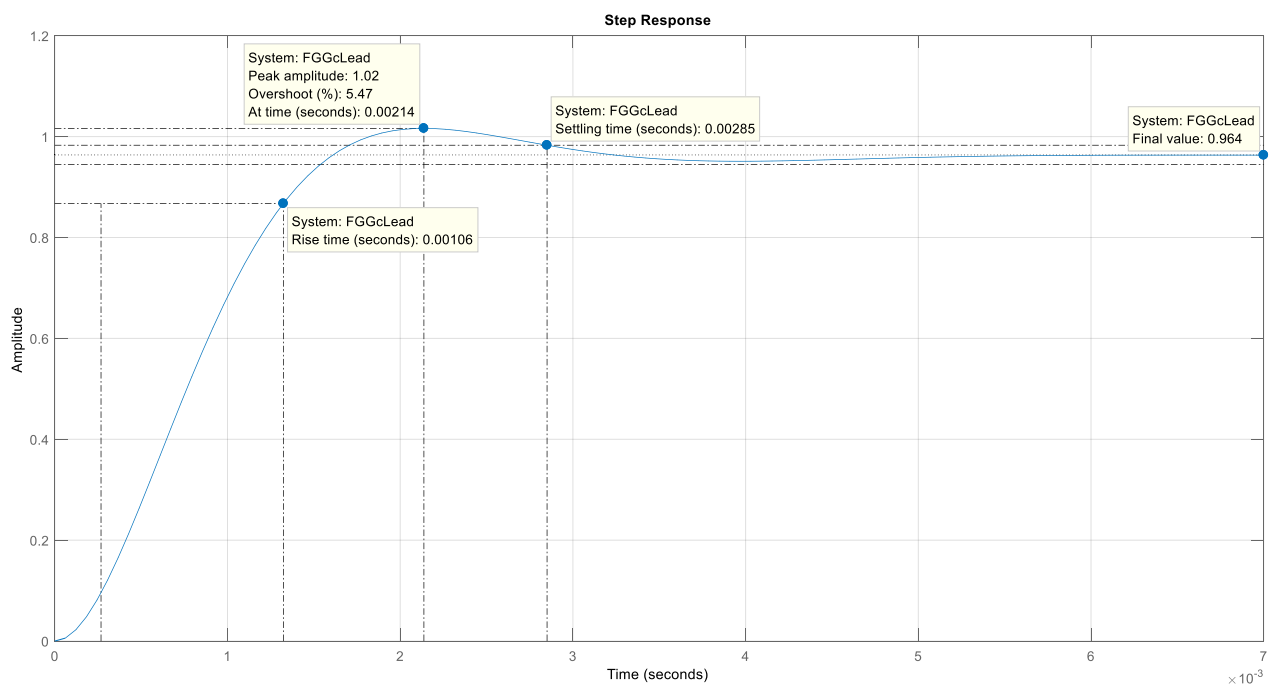
Dette findes på x-aksen og der finder det punkt på grafen hvor  $\beta \sim 0,4$ , her aflæses 4dB.



Bidraget fra LEAD regulatoren bliver dermed  $M = 1,58$ . Bidraget fra selve overføringsfunktionen var  $K_p = 42$ .

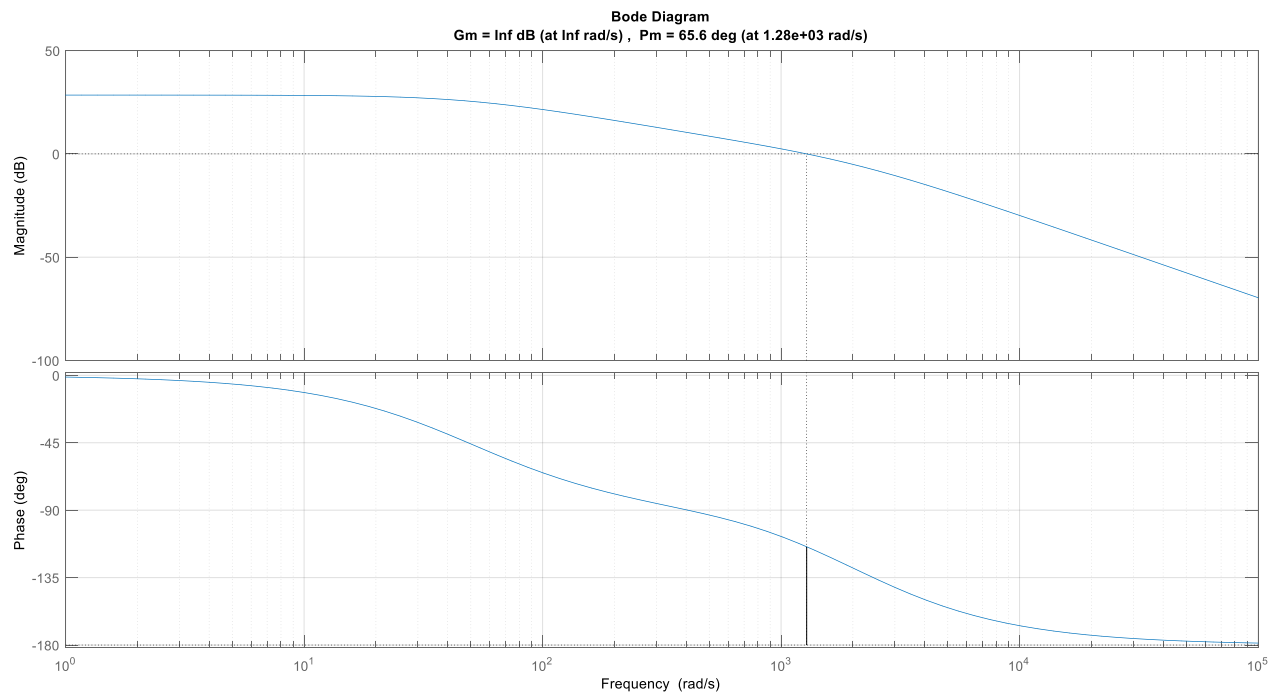
$$K_c = \frac{42}{1,58} = 26,582$$

$$\frac{K_c}{42} = 0,63$$



Systemets stationære fejl findes ud fra slutværdien.

$$e(\infty) = 1 - 0,964 = 0,036$$



Det ses at båndbredden er fastholdt, mens fasemarginen heraf er forbedret (blevet forøget) og DC-forstærkningen ikke er blevet forringet.

- d) Med udgangspunkt i situationen fra b) skal dimensioneres en PI-regulator således at den stationære fejl fjernes uden at oversvingets størrelse ændres nævneværdigt.

Idet den stationære fejl ønskes fjernet helt, må  $\alpha$  skulle være uendelig, hvorved overføringsfunktionen ændrer udseende. Dette kaldes for en integralregulator.  $T$  er nulpunktet hvor grafen skal knække ned igen.

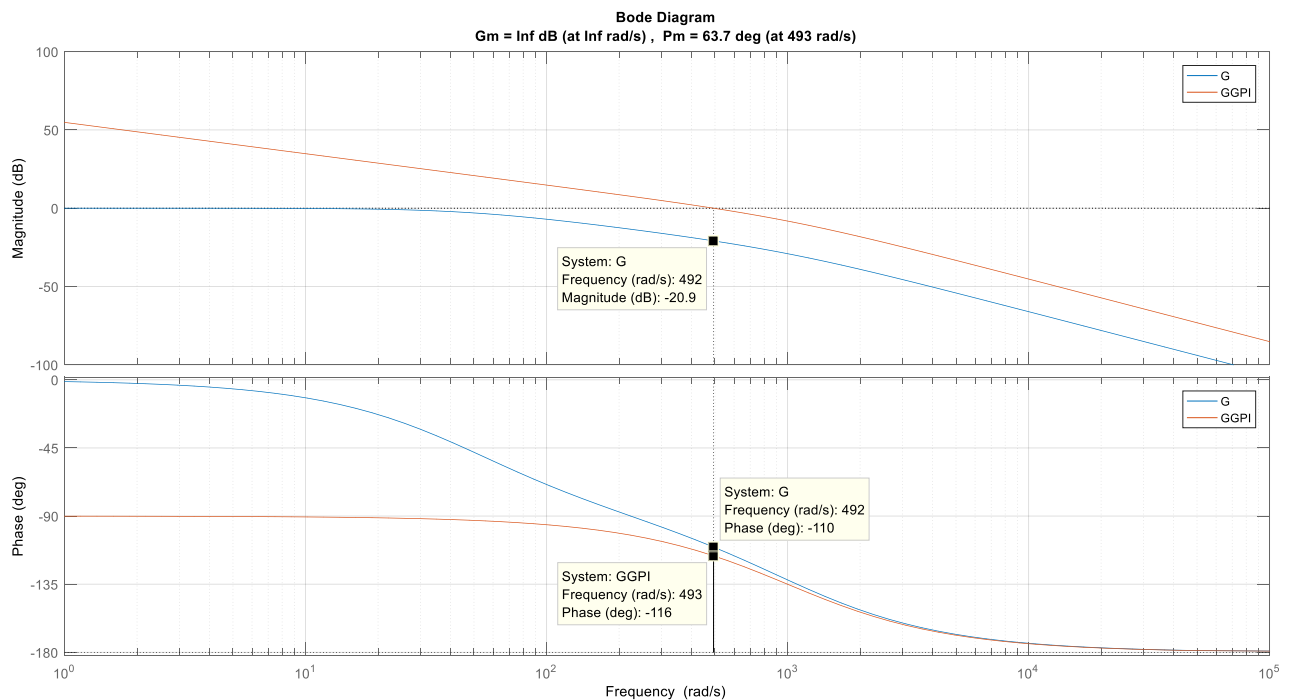
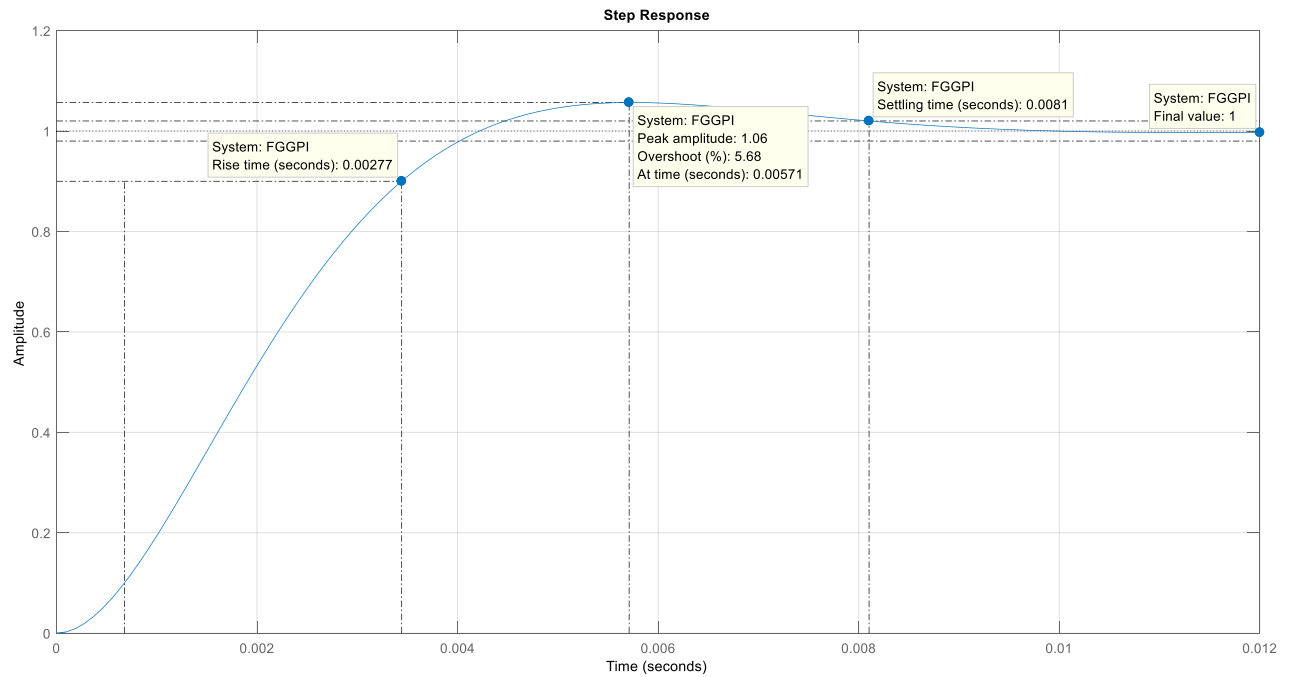
$$G_c(s) = \frac{s + \frac{1}{T}}{s + \frac{1}{\alpha T}} \rightarrow \frac{s + \frac{1}{T}}{s}$$

Nulpunkt placeres 10-20 gange under fasemarginsfrekvensen for ikke at påvirke denne.

$$\frac{1}{T} = \frac{\omega_{\phi m}}{10} = \frac{491}{10}$$

$$T = \frac{1}{49,1} \approx 0,02$$

Stepresponset for systemet med LAG. Et %OS på ca. 5% ses, altså den samme fra opgave b. Den stationære fejl er derimod blevet fjernet.



Lag regulatoren hæver DC forstærkningen og vil derfor formindske den stationære fejl. Det ses af fasekarakteristikken at regulatoren bidrager med en negativ fase. Denne ligger typisk på 6 grader. Derfor bliver fasemargin lidt anderledes end beregnet.

```
TPI = 1/50;
GPI = zpk([-1/TPI], [0], 1)
GGPI = G*GPI;

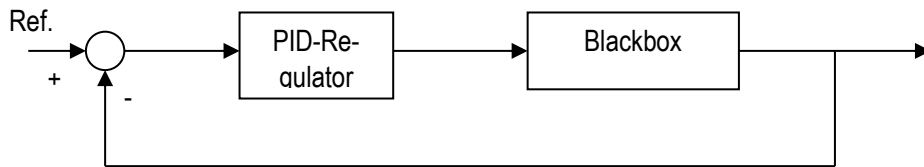
GPI = (s+50)/s
```



## Øvelsen

Blackbox'en indsættes i den lukkede sløjfe. Opbygget med den Control box, der blev anvendt ved modelleringen. Det er muligt at indstille forskellige korrektionsnetværk af typen PID (PI-Lead).

### Systemoversigt



En firkantsspænding på ca.  $\pm 40$  mV, 20Hz, tilsluttes referenceindgangen som udgangspunkt, men må tilpasses i det efterfølgende.

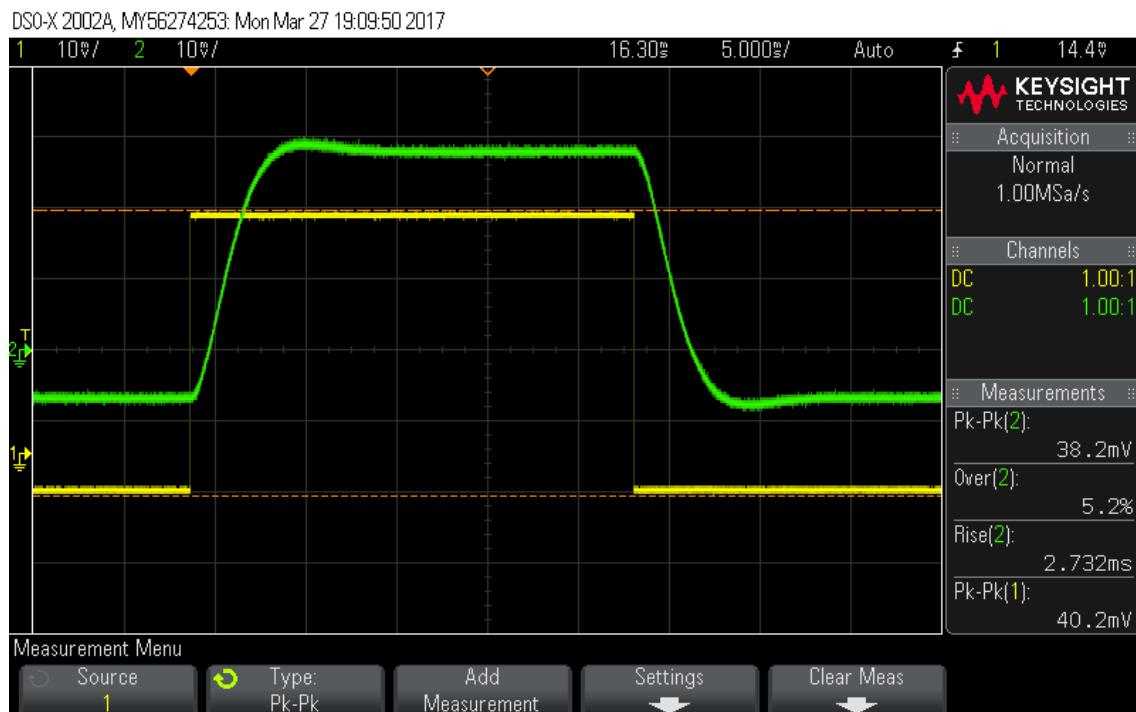
**Vigtigt!** Teorien gælder kun så længe ingen af enhederne overstyres, hold øje med røde mætnings-diode.

### P-regulator (I- og D-led slået fra)

- a) Juster åbensløjfe forstærkningen med  $K_p$ , og beskriv hvorledes den stationære fejl, oversvinget og opvoksningstiden påvirkes. Følg med i Bodeplottet for at forklare hvad der sker.

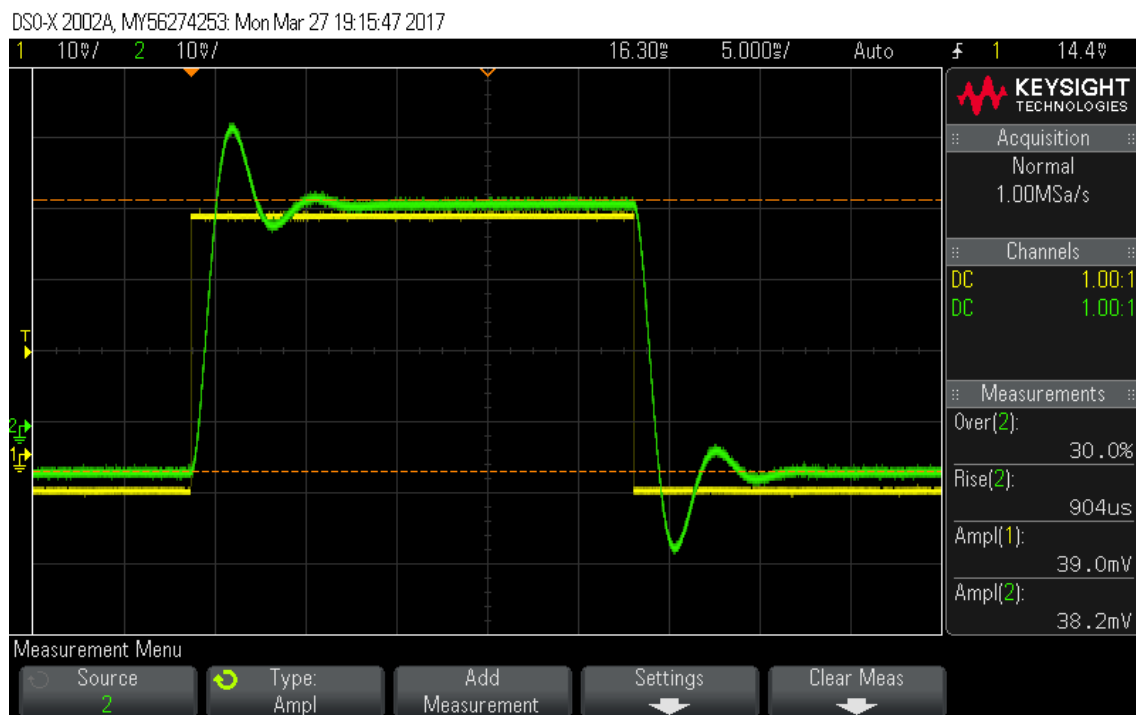
Når der skrues op for  $K_p$  gøres den stationære fejl mindre og risetime bliver klart formindsket ved højere forstærkning. Når  $K_p$  gøres stor nok opstår et oversving, hvor %OS stiger jo højere forstærkningen bliver.

- b) Indstil den  $K_p$ -værdi, der giver ca. 5% oversving, og bestem systemets stationære fejl og opvoksningstiden. Sammenlign med simuleringresultaterne.



Ved 5% oversving og en  $K_p$ -værdi på 8 er den stationære fejl  $40,2\text{mV} - 38,6\text{mV} = 1,6\text{mV}$  og risetime er 2,8ms.

- c) Indstil  $K_p$  så oversvinget er ca. 30% og bestem systemets stationære fejl og opvoksningstiden. Sammenlign med simuleringsresultaterne.



For at opnå 30% tændes for x10-knappen til processen på control boxen med en  $K_p$ -værdi på 35,5. Risetime er 900 $\mu$ s og den stationære fejl er 39,0mV-38,2mV = 0,8mV.

**PD-regulator** (I-led slået fra)

- a) Indstil nu  $K_p$ ,  $T_D$  og  $T_L$  svarende til den beregnede Lead-regulator. Iagttag om %OS er reduceret til ca. 5%.

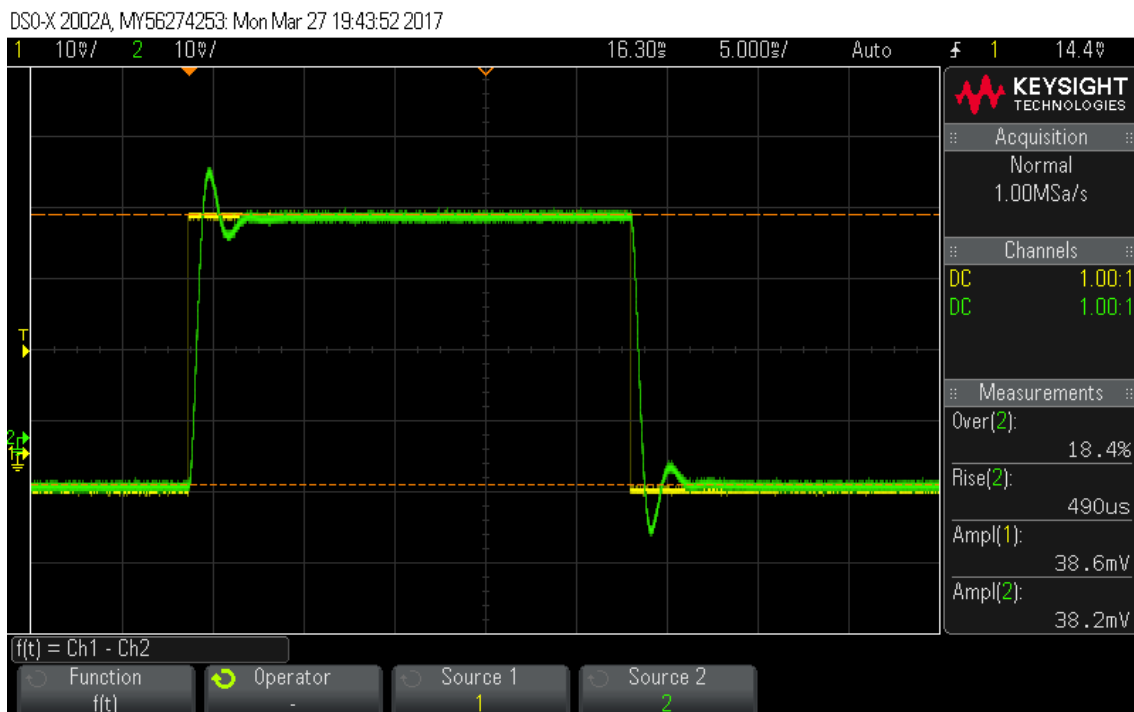
$$M(s) = \frac{\frac{T_D}{T_L} \left( s + \frac{1}{T_D} \right)}{s + \frac{1}{T_L}} K_p$$

$$G_{lead}(s) = \frac{1}{\beta} \frac{s + \frac{1}{T}}{s + \frac{1}{\beta T}} K_c$$

$$T_L = \beta \cdot T = 0,5 \text{ ms}$$

$$T_D = 1,2 \text{ ms}$$

$$K_P = 42$$

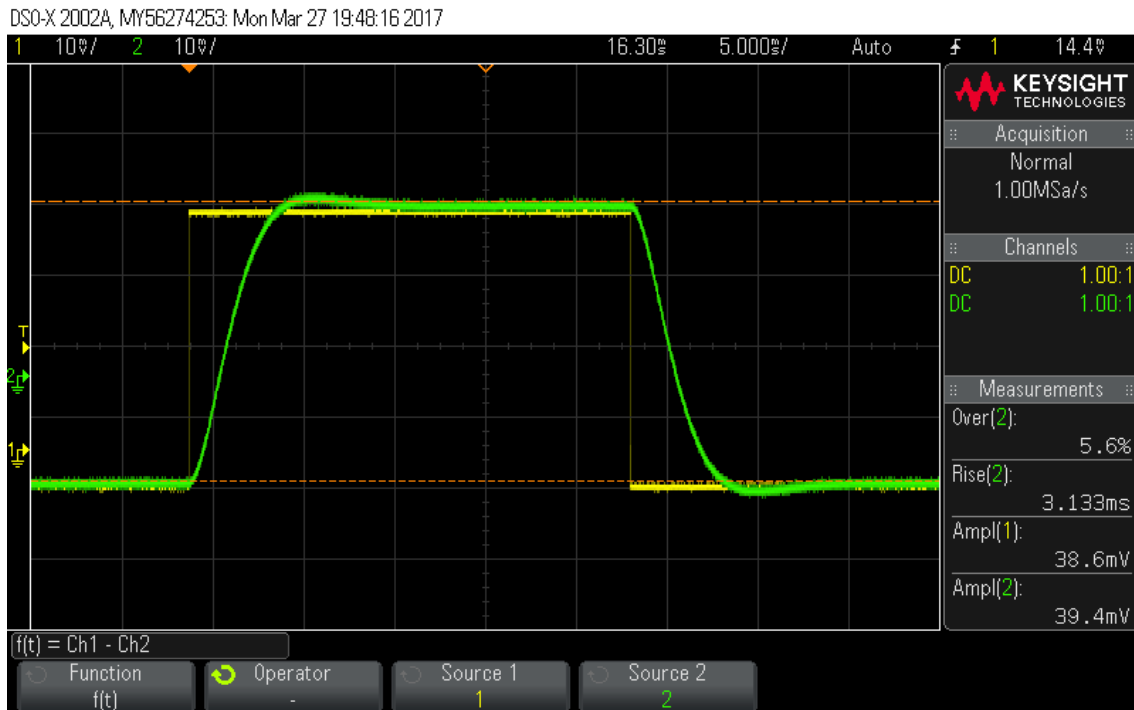


Med værdierne  $K_p = 42$ ,  $T_D = 1,2\text{ms}$  og  $T_L = 0,5\text{ms}$  fås et overshoot på 18%.

- b) Bestem systemets stationære fejl og opvoksningstiden.  
Risetime er  $490\mu\text{s}$  og den stationære fejl er  $38,6\text{mV} - 38,2\text{mV} = 0,4\text{mV}$ .

**PI-regulatoren (D-led slået fra)**

- a) Indstil  $K_p$  så oversvinget er ca. 5%.



$$K_p = 8,35$$

- b) Indstil PI-regulatoren så den stationære fejl fjernes uden at oversvingets størrelse ændres. Sammenlign med forbedelsen. 10-turns potentiometeret kan indstilles så  $T_I$  går fra 0 til 100 ms.

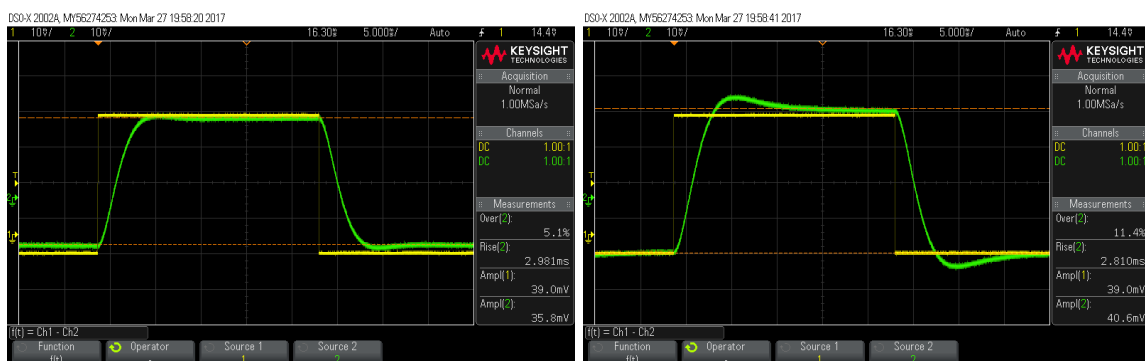
$$T_I = 13,4\text{ms} = 74,6\text{Hz}$$

der er dog stadig en stationær fejl på 1mV.

- c) Juster  $T_I$  så nulpunktet flyttes hhv. tættere på og længere væk fra fasemarginsfrekvensen. Hvad sker der med step-responsen og settling tiden

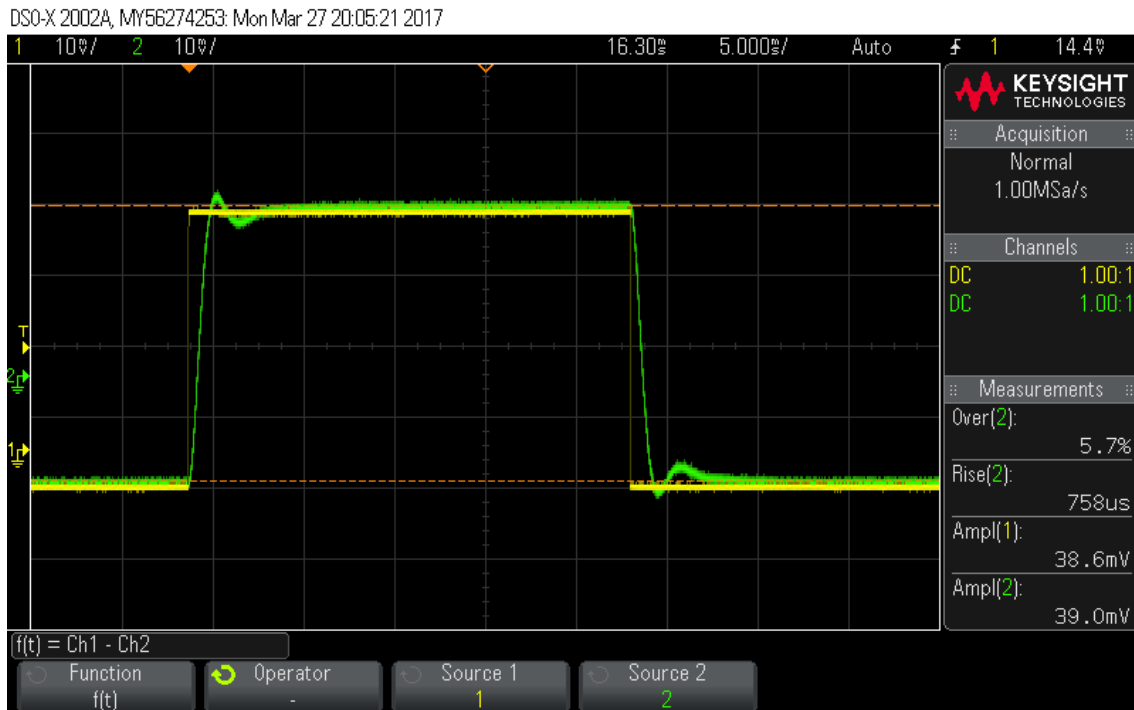
Fasemarginsfrekvensen er  $1300\text{rad/s} = 207\text{Hz}$ . Når  $T_I$  øges, og derfor kommer længere væk fra fasemarginsfrekvensen, bliver den stationære fejl forværret og settling time bliver kortere.

Ved scopet til venstre er  $T_I = 80\text{ms}$  og scopet til højre er  $T_I = 8\text{ms}$ .



## PID-regulatoren

- a) Koppel nu både I- og D leddet ind samtidigt så godt det nu lader sig gøre med en fælles  $K_p$  faktor og forklar stepresponset.



$T_I = 17$ ,  $T_D = 1,2$  og  $T_L = 49$  fra tidligere og  $K_p = 26,7$  indstillet efter 5% overshoot. Tilsammen danner de forskellige led et stepresponse med kort settling time og ingen stationær fejl.

- b) Derudfra kan du evt. forsøge yderligere, at optimere systemet til 5% oversving og mindst mulig opvoksningstid, men pas på der ikke optræder mætning. Sammenlign indstillingerne med beregnede værdier fra forberedelsen.

Allerede optimeret i opg. a)