Øvelse 4

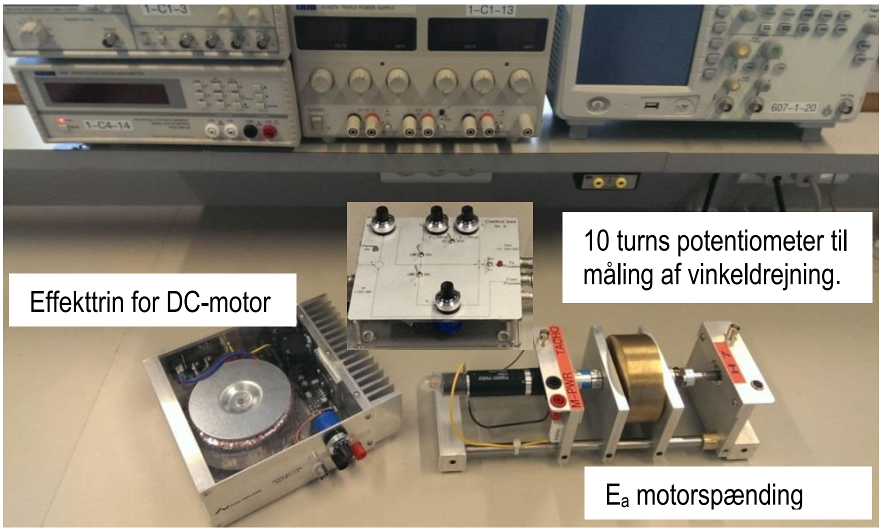
DC-motoren som positionsservo

Jonas Lind	201507296
Tais Hjortshøj	201509128
Marcus Andersen	201508863

Øvelsesobjektet

Øvelsesobjektet består af en færdigmonteret motorstand. Motor, tachometer, gear, ekstra inertibelastning og nu også potentiometeret til måling af vinkeldrejning, er monteret samlet og udgør reguleringsobjektet.

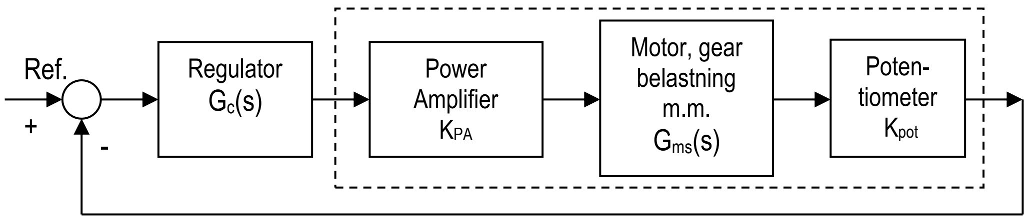
Tillige bruges oscilloscope, funktionsgenerator, Power Amplifier og en Control box, hvor regulator-parametre kan realiseres.



Formål

- at opbygge et positions reguleringssystem (positionsservo)
- ud fra givne dynamiske og statiske systemkrav, at dimensionere en Lead-regulator
- at afprøve virkningen af en P-, PI- og Lead regulator, realiseret analogt i laboratoriet
- simulering i Matlab

Systemoversigt



Processen er nu forstærker og motoropstilling med potentiometer, indrammet i systemoversigten ovenfor.
I øvelse 2 blev der målt forskellige modelparametre, men nu tager vi et fælles udgangspunkt og antager følgende:

R_a	18 ohm	$K_t = K_b$	0,044 Nm/A, V/s	J	$3{,}4 \cdot 10^{-6}$ kgm^2
D	$6 \cdot 10^{-6}$ Nms	K_{ms}	720 (Vs)$^{-1}$	τ_{ms}	30 ms

Forberedelse

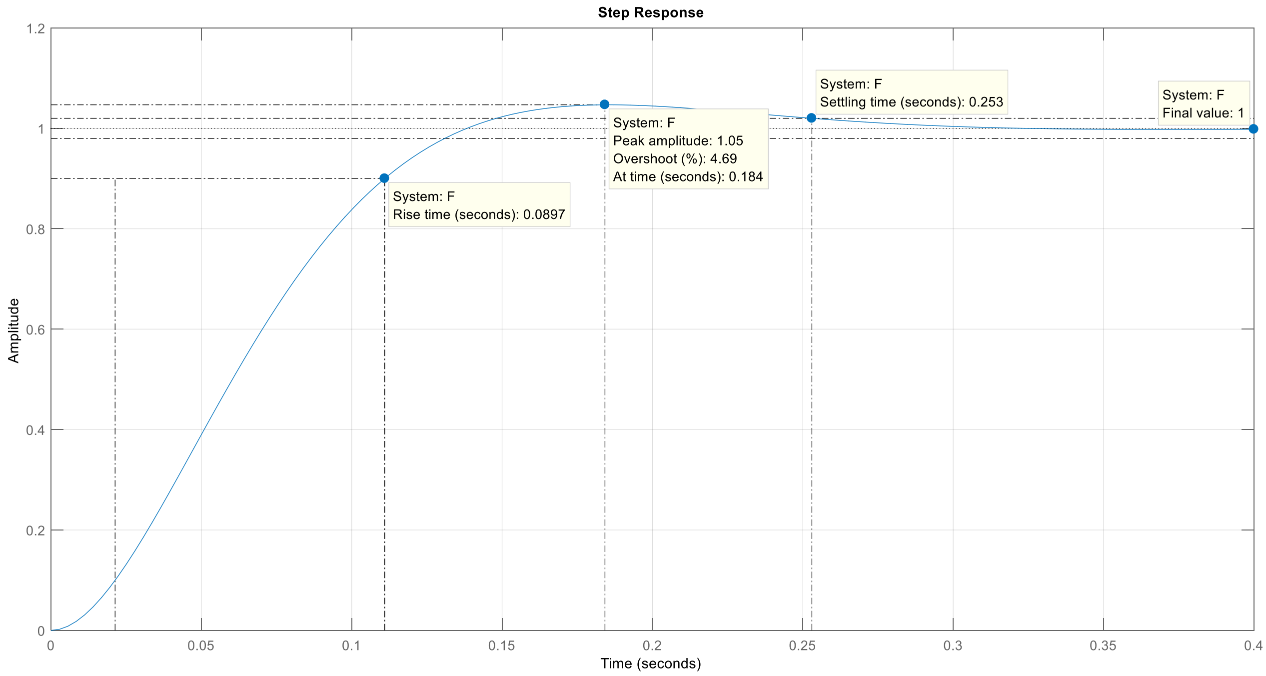
Åbensløjfe overføringsfunktionen for det samlede system er:

$$G_c(s) \cdot K_{PA} \cdot G_{ms}(s) \cdot \tfrac{1}{s} \cdot \tfrac{1}{N} \cdot K_{pot}$$

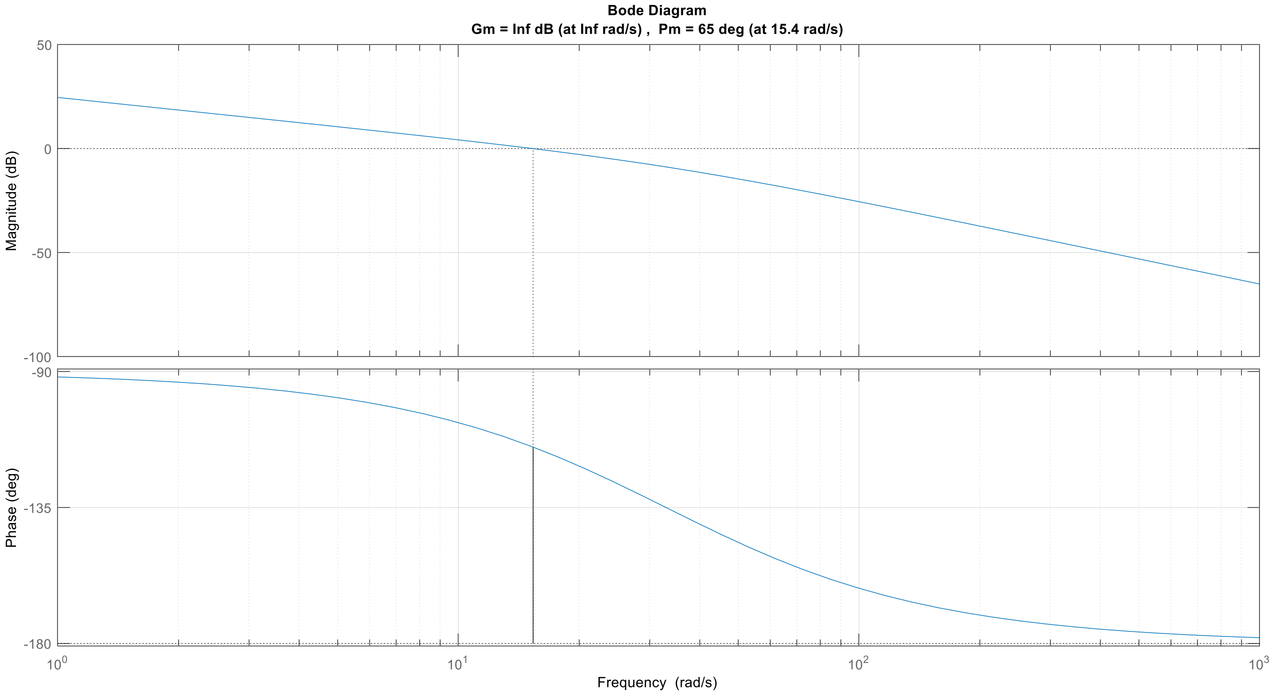
$G_{ms}(s) = 720 / (s+33)$; $K_{pot} = 0{,}478$ [V/rad]; $N = 24$; $K_{PA} = 1$

a) Idet $G_c(s)$ er en konstant, K_C , ønskes ved **simulering** fundet den største værdi, for hvilken lukketsløjfe systemet har et oversving < 5%. Brug Matlab. Iagttag settlingtime, oversving og stationære fejl.

Kc sættes til 39, da den ved højere værdier giver mere end 5% overshoot. Kc = 39 giver følgende stepresponse og et oversving på 4,69%, en settling time på 253ms uden stationær fejl.



Plot for K_C-værdien amplitude- og fasekarakteristik, og find den tilhørende fasemargin, φ_m og fasemarginsfrekvens, $\omega_{\varphi m}$.



Fasemargin er 65 grader og fasemarginsfrekvensen er 15,4 rad/s.

b) Systemet er et type 1, og vil have en stationær fejl ≠ fra 0 for rampeinput.
Idet referencen er en trekantkurve, der går ±200 mV med frekvensen 0,5 Hz, ønskes den stationære fejl, e(∞), beregnet med værdierne fra a)

Fejlen findes ved først at udregne hastighedskonstanten med denne formel.

$$K_v = \lim_{s\to 0} sG(s)$$

Fejlen er så:

$$K_v = \lim_{s\to 0}\big(s \cdot G(s)\big) = s \cdot \frac{559.3}{s^2 + 33s} = \frac{559.3}{33} \approx 16{,}94848$$

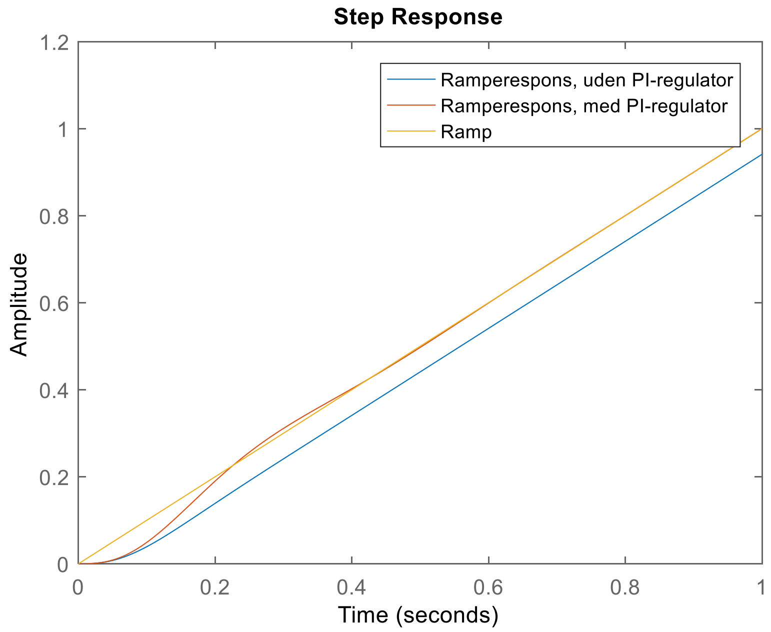
$$e(\infty) = \frac{R(s)}{K_v} = \frac{400mV}{16.95} = 23{,}59882 \cdot mV \qquad e(\infty) = \frac{R(s)}{K_v} = \frac{200mV}{16.95} = 11{,}8 \cdot mV$$

$$e(\infty) = \frac{R(s)}{K_v} = \frac{1V}{16.95} = 0{,}05899705 \cdot V = 59mV$$

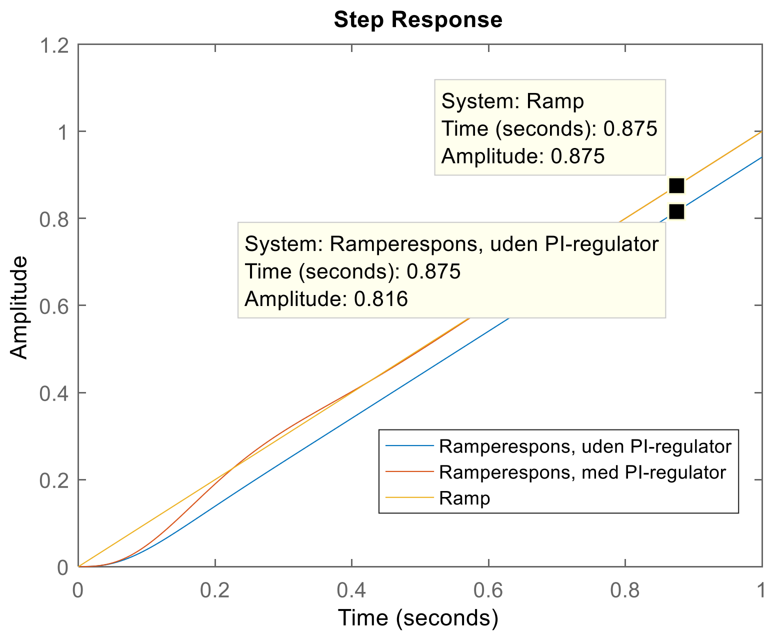
Den stationære fejl kan forbedres ved øget DC-forstærkning, og vi vil forsøge med PI-regulatoren: $G_c(s) = \frac{s+10}{s}$, der repræsenterer det største T_I, der kan indstilles på Control box.

c) Simuler step og ramperesponset med og uden PI-regulatoren indkoblet og forklar forløbet ud fra Bodeplottet i a) og det for systemet med PI-regulatoren.

Vi ser på Figur 2 at der uden PI-regulatoren er en stationær fejl på rampe input, som er gældende for type 1 systemer. Med PI-regulering bliver denne fejl fjernet.



Figur 1



Figur 2 – Den stationære fejl vist på stepresponset.

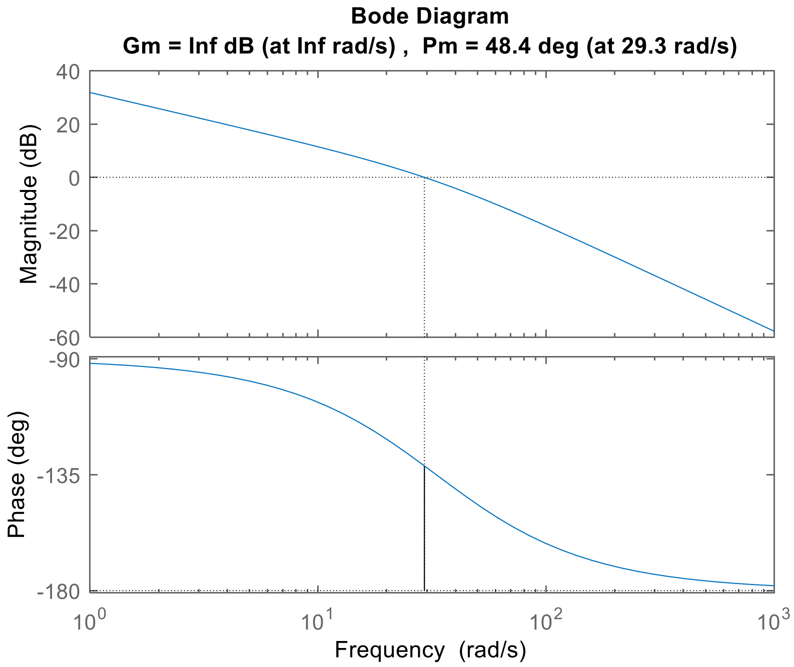
Den stationære fejl kan findes på stepresponset for rampeinputtet ved forskellen mellem respons med PI-regulator og uden PI-regulator.

$$e(\infty) = 0{,}875 - 0{,}816 = 0{,}059$$

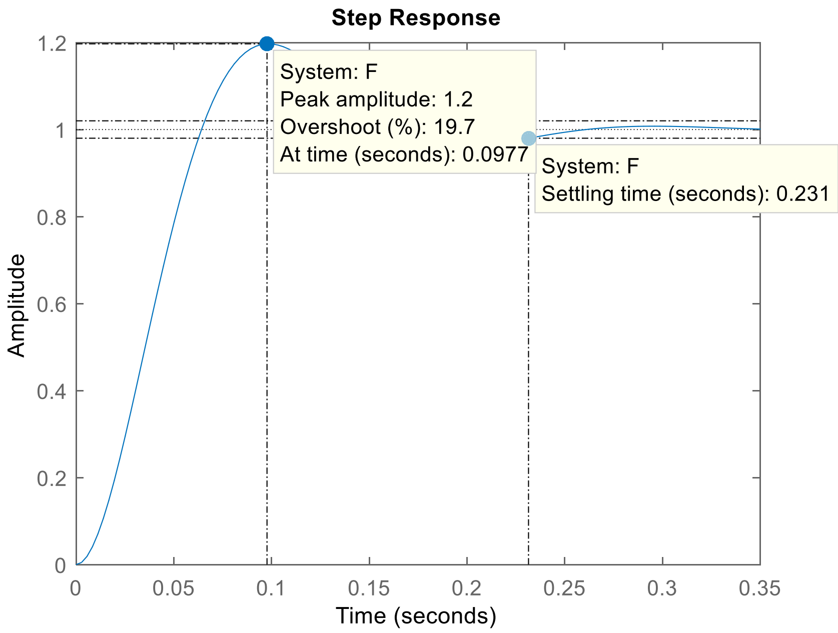
Efterfølgende anvendes PI-regulatoren ikke.

d) Idet K_C forøges til ca. 90 gg findes tilhørende φ_m og $\omega_{\varphi m}$. Indtegn situationen i et Bodeplot og kontroller med et stepresponse. Brug Matlab. Iagttag settling time og oversving.

- Med en øget forstærkning øges fasemargin frekvensen og fasemargin bliver mindre.
- Før var fasemarginfrekvensen 15,4rad/s og der var en fasemargin på 65 grader.
- Fasemarginfrekvensen er nu 29,3 rad/s og der er en fasemargin på 48,4 grader.



Figur 3



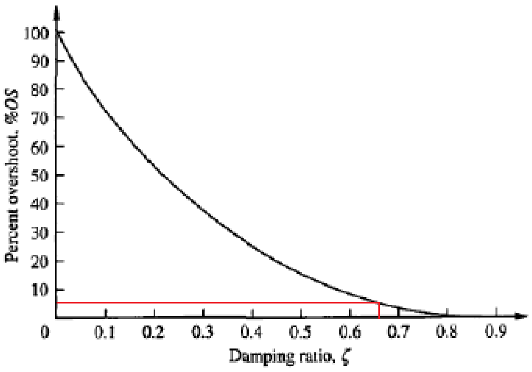
Figur 4

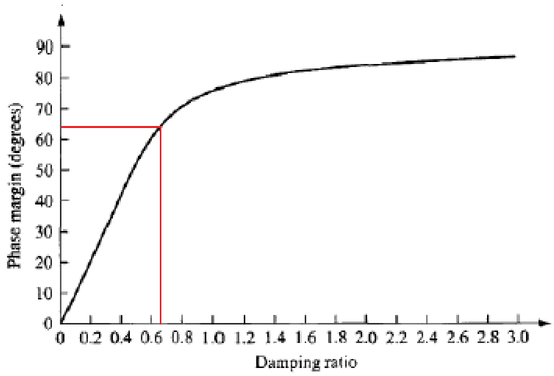
- T_s = 231 ms
- %OS = 19,7%

e) Dimensioner en Lead-regulator så systemet har et oversving < 5% som i a), men med samme fasemarginsfrekvens som i d). Indtegn situationen i et Bodeplot og kontroller med et stepresponse. Brug Matlab. Iagttag settling time og oversving.

Den Lead-regulator, der kan realiseres på Controler box'en er:

$$G_{PD}(s) = K_p(1+\frac{\tau_D s}{\tau_L s+1}) = K_p \frac{s+\frac{1}{\tau_D+\tau_L}}{s+\frac{1}{\tau_L}} \cdot \frac{\tau_D+\tau_L}{\tau_L}$$ svarende til $$G_c(s) = \frac{1}{\beta}\frac{s+\frac{1}{T}}{s+\frac{1}{\beta T}}K_c$$





Der ønskes %OS = 5% og det giver følgende parametre.

- $\zeta = 0{,}65$
- $\varphi_m = 64$

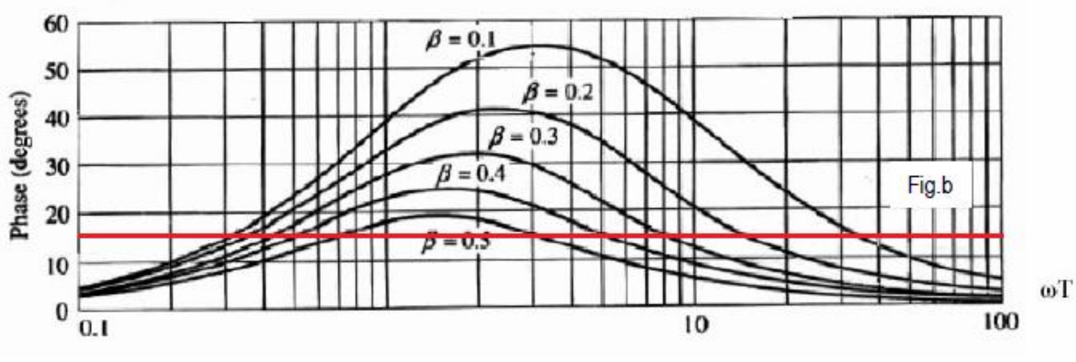
Fasemarginen ved spørgsmål d) var 48,4 grader. Fasemarginen ved de ønskede 5% OS er 64 grader. Det positive fase bidrag som er nødvendig for at opnå den ønskede fasemargin og båndbredde er da:

$$\phi_{m+} = 64 - 48{,}4 = 15{,}6$$

β kan herved findes ved at indsætte φ_{m+} i formelen.

$$\beta = \frac{1-\sin(\phi_{m+})}{1+\sin(\phi_{m+})} = 0{,}57$$

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



$$\omega_{\phi m} = 29{,}3$$

Herefter skal T findes ud fra formelen

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

$$T = \frac{1}{\omega_{\phi m}\sqrt{\beta}} = 45\text{ms}$$

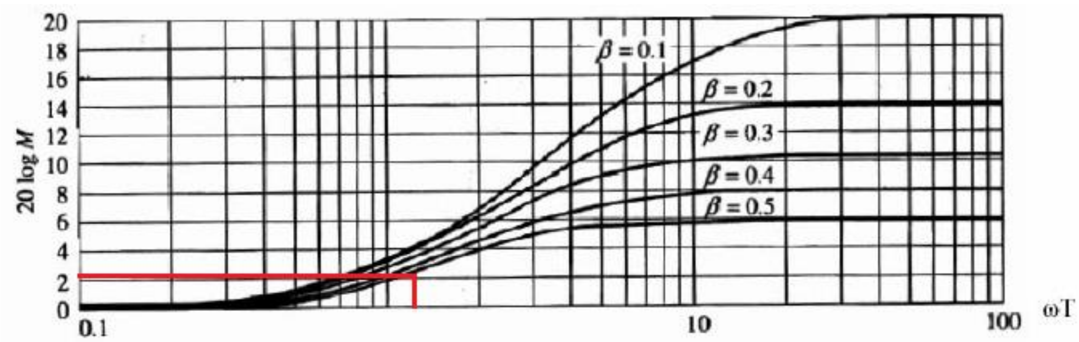
T afgør placeringen af toppen for β (faseboblen).

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-regulatoren kan nu findes grafisk ud fra følgende sammenhænge

$$T * \omega_{\phi m} = 0{,}045 * 29{,}3 = 1{,}32$$

Dette findes på x-aksen og der finder det punkt på grafen hvor β ~ 0,5, her aflæses 2,5dB.



$$20\log(M) = 2{,}5$$

Bidraget fra lead-regulatoren bliver dermed $M = 1{,}14$. Bidraget fra selve overføringsfunktionen var $K_p = 90$.

$$K_c = \frac{90}{1{,}14} = 78{,}95$$

$$K_c = \frac{K_c}{90} = 0{,}88$$

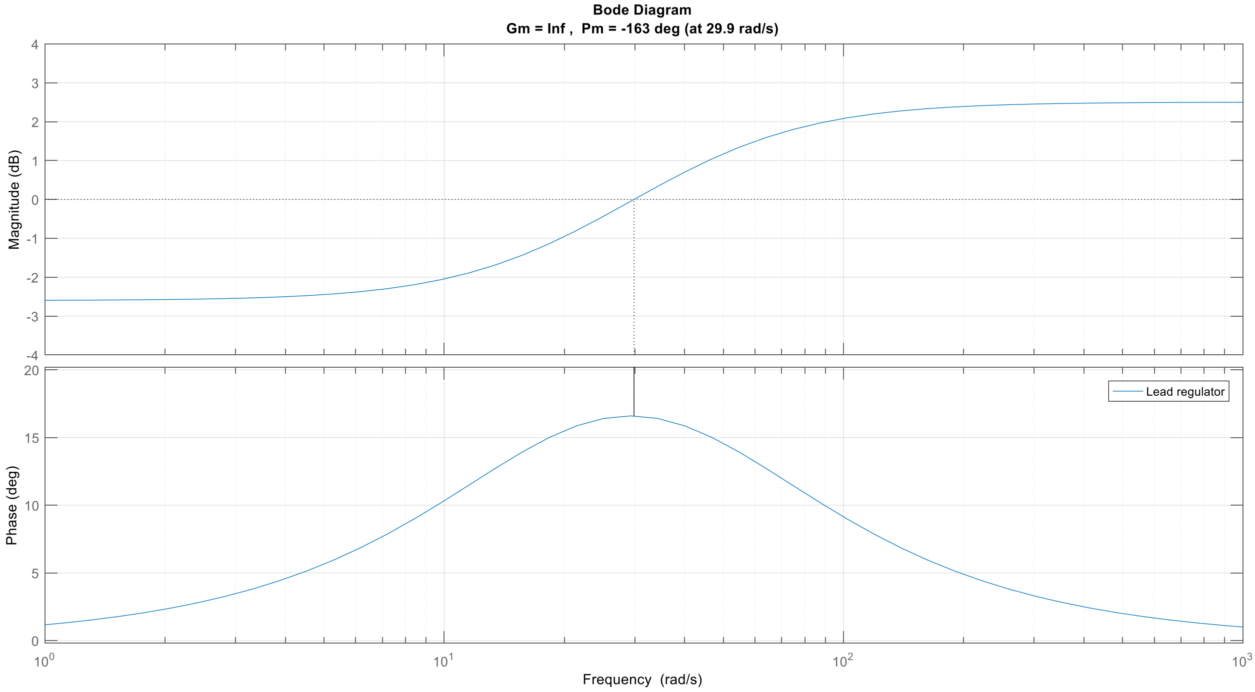
Overføringsfunktionen for lead-regulatoren er da

$$G_{lead} = 1{,}33 \cdot \frac{s + 21{,}84}{s + 39.31} K_c$$

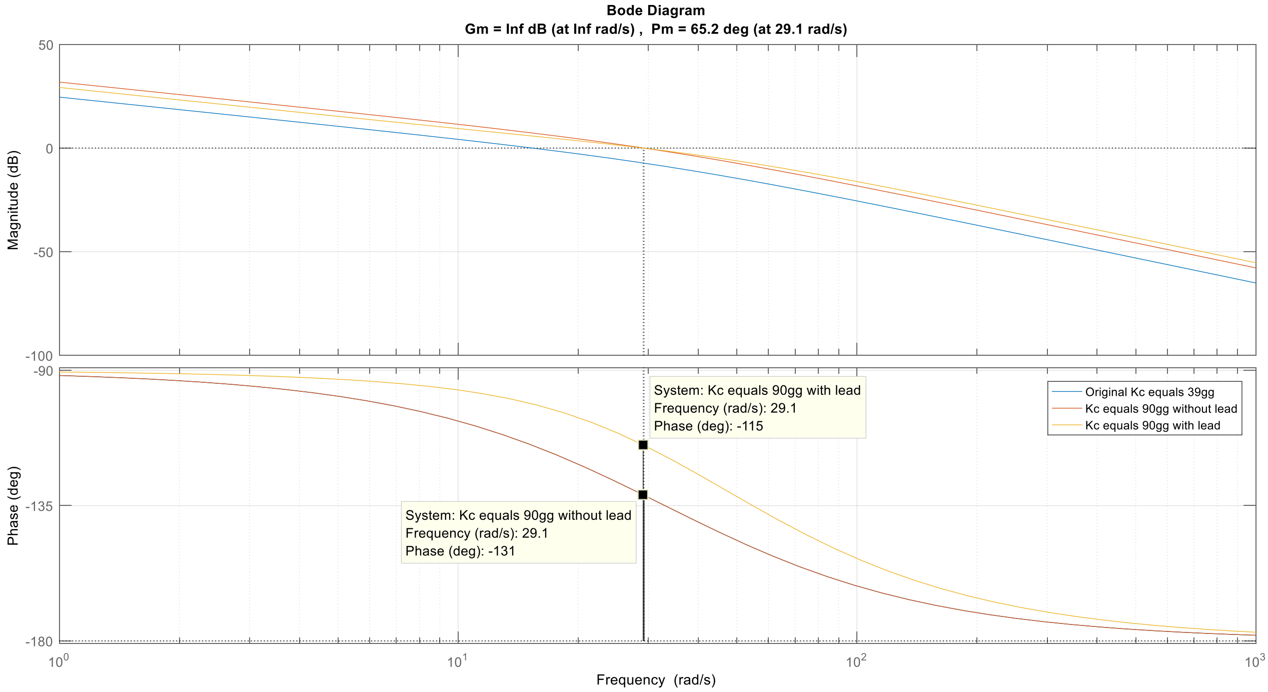
Ud fra overføringsfunktion kan T_L og T_D udregnes

$$T_L = \frac{1}{39.31} = 25{,}4ms \qquad T_D = \frac{1}{21.84} - 25{,}4ms = 20{,}3ms$$

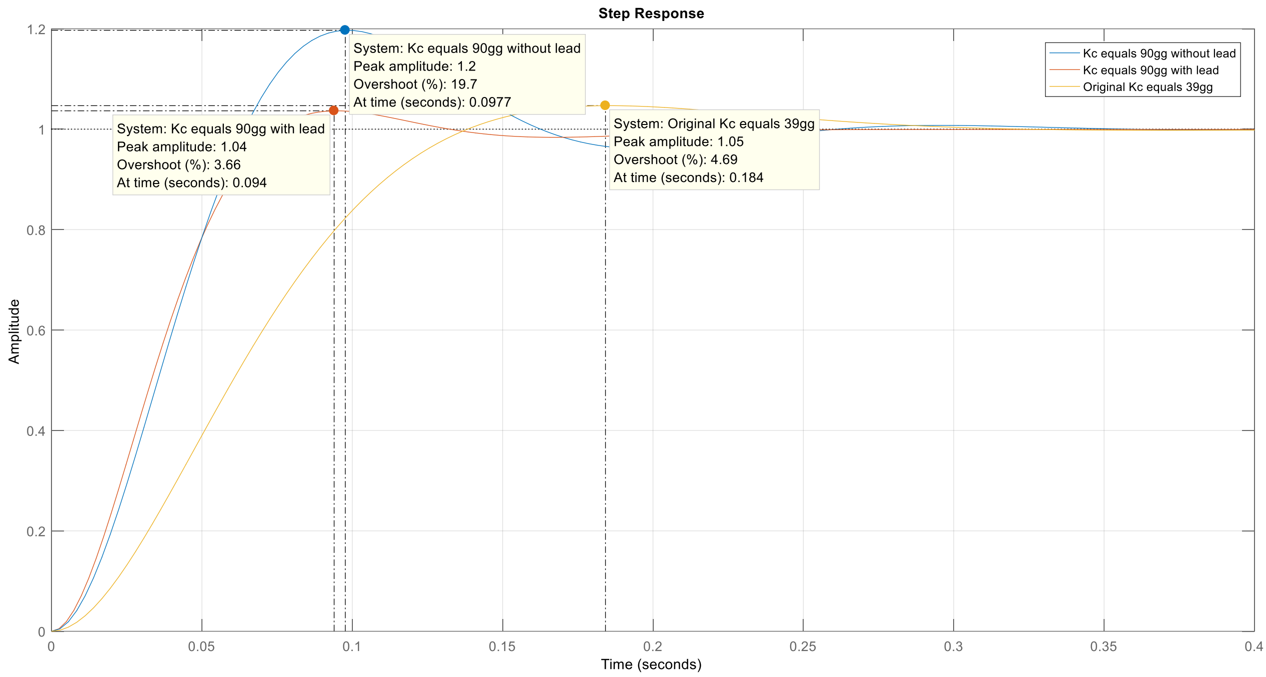
Amplitude og fasekarakteristik for lead-regulatoren ses på Figur 5. Lead-regulatoren hæver fasen ved fasemarginfrekvensen $\omega_{\varphi m}$ og gør derfor %OS mindre.



Figur 5 - Bode plot af lead-regulatoren.



Figur 6 - Bode plot af G(s) med forstærkning 39gg, 90gg med og uden lead-regulator.



Figur 7 - Steprespons af G(s) med forstærkning 39gg, 90gg med og uden lead-regulator.

Øvelsen

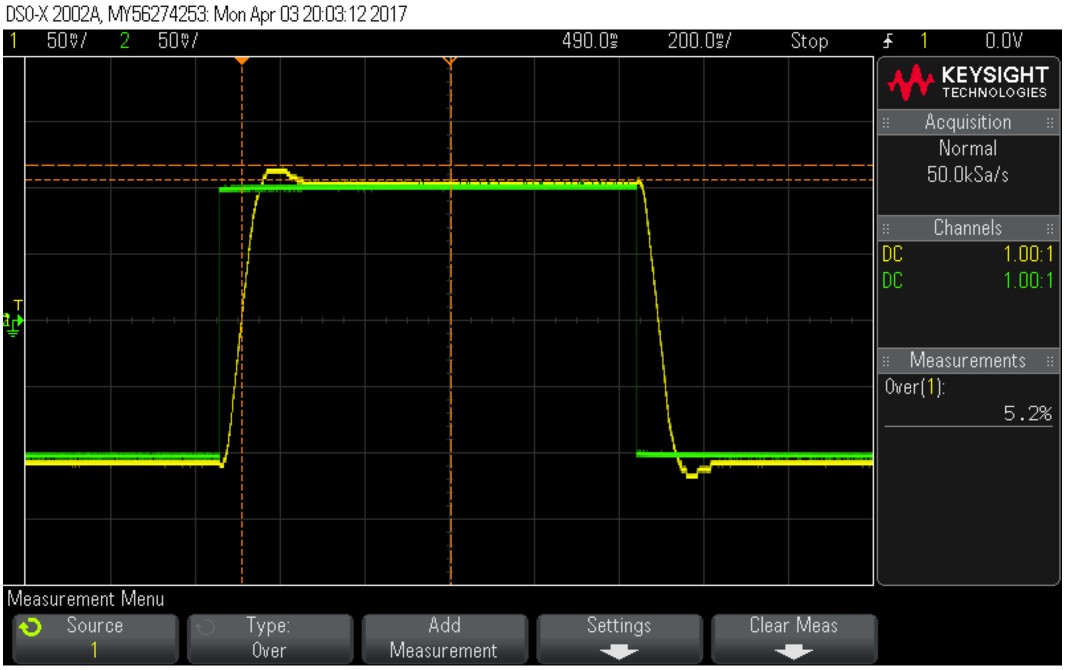
Direkte på motorakslen tilsluttes et 10-turns-potentiometer til vinkelmåling, skub potentiometeret frem til indgreb med udgangsakslen. Over potentiometeret lægges ±15V der hentes fra Control box via mini XLR-stik. Potentiometerets udtag er ført til BNC-stikket. Udtaget giver altså -15V for potentiometeret drejet helt til den ene side, og +15V for akslen drejet 10 omgange til den modsatte side.

Vigtigt!
Teorien gælder kun så længe ingen af enhederne overstyres. Kontroller derfor udgangen på effekttrinnet ved alle målinger, udgangssignalet må ikke overstige ±20V
Benyt evt. 4-kanals scope, som vi dog kun har 10 af. Ved overstyring af Control box vil rød LED lyse, ±10V.

1. Sæt på Control box K_p=1 og vippekontakten til x1.
   Power Amplifier K_{PA}=1. Referencen, Vin = 0V (kan gøres ved blot at slukke funktionsgeneratoren).
   Akslen skal nu dreje potentiometeret til sit midtpunkt. Prøv manuelt at dreje akslen, så vil du se, at positionen kan være både lidt over og under referencen. Grunden er at motoren først starter ved en spænding på 0,3-5V (friktion i lejer o.l. tør- og klæbe friktion), det kan modelleres som en konstant forstyrrelse i blokdiagrammet.
   Slå Gain over på x10 og se at afvigelsen nu er meget mindre.

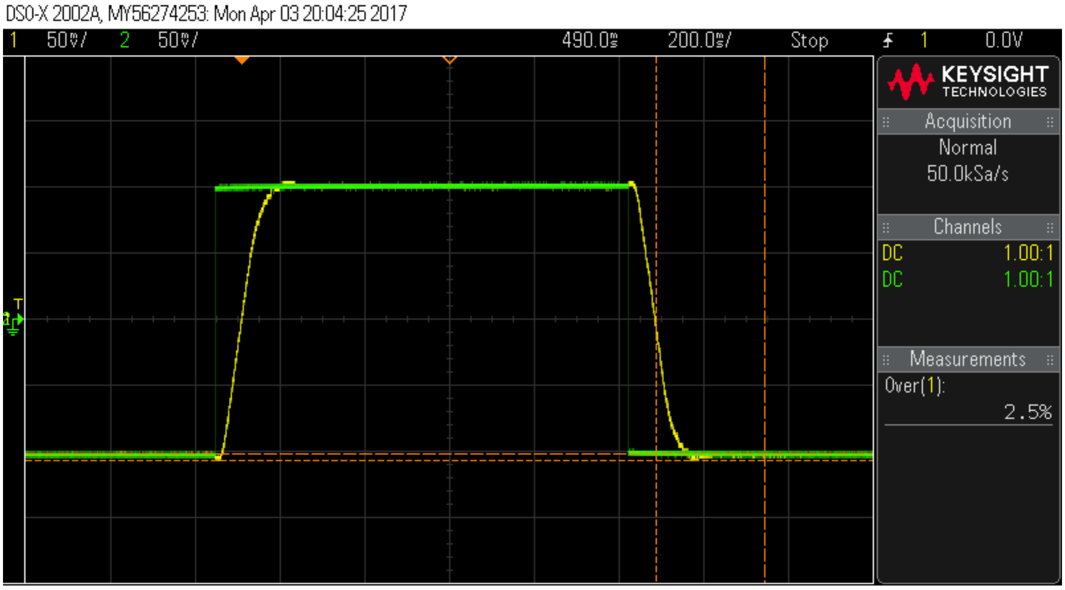
   - Når gain sættes til x10 bliver motoren mere følsom, da de 300-500mV nås allerede ved 30-50mV, og den reagerer derfor hurtigere.

2. Brug funktionsgeneratoren indstillet til firkanter, ±200mV og 0,5 Hz, som reference.
   Juster forstærkningen K_{PA} til et oversving < 5%, ca. og sammenlign med forberedelsens Kc
   Iagttag positionens oversving og stationære fejl (juster scopets offset så den stationære fejl er symmetrisk).

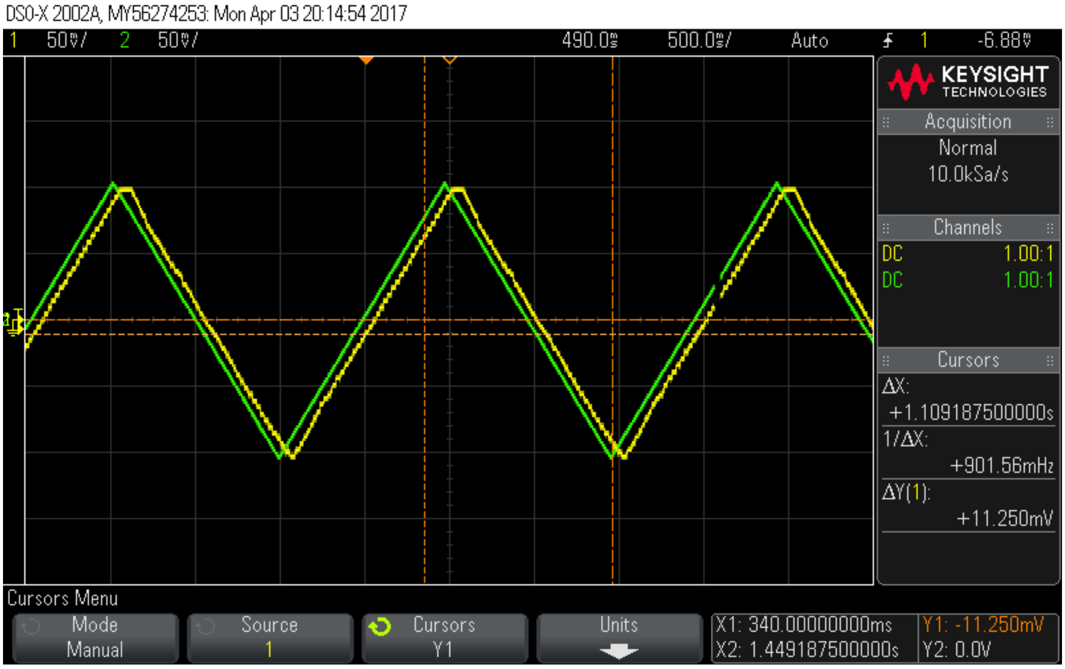


Oversvinget når 5% ved en forstærkning på 5,3*10=53, der ligger lidt højere end simuleringens 39.

Indstilles den til 39 fås et oversving på 2,5%. Der er ingen stationær fejl.

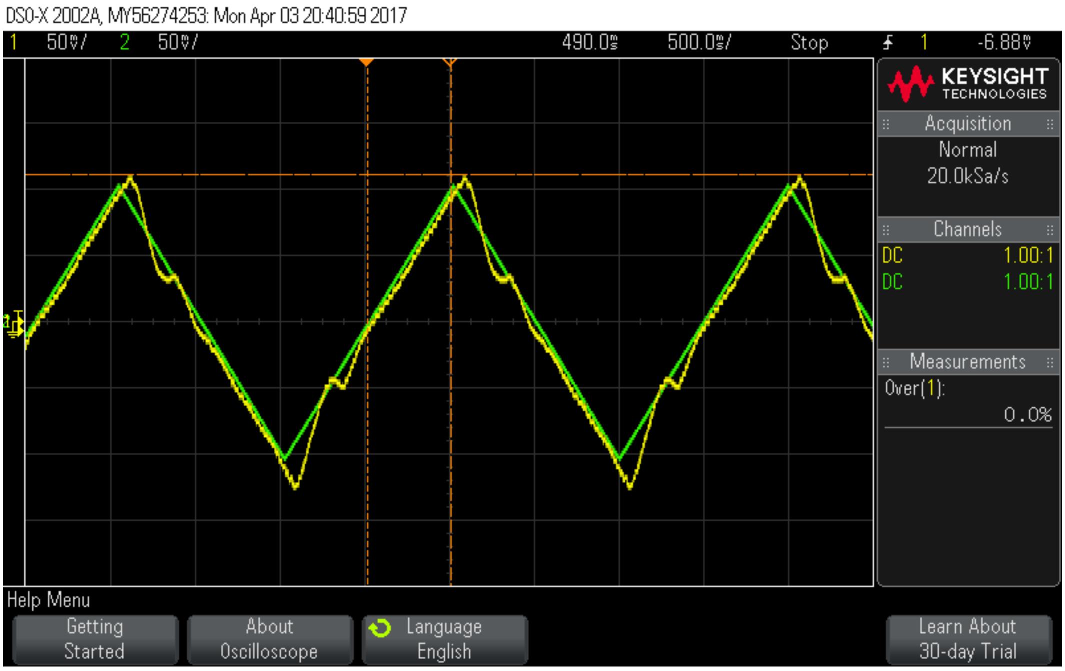


3. Indstil funktionsgeneratoren til en trekantkurve, der går ±200 mV med frekvensen 0,5 Hz og iagttag den stationære fejl. Sammenlign med forberedelsen.



Forskellen mellem ind- og output, den stationære fejl, måles til 11,25mV. Dette ligger tæt på de 11,8mV der fås hvis den stationære fejl regnes ud fra ±100 mV i stedet for ±200 mV blev beregnet i forberedelsen.

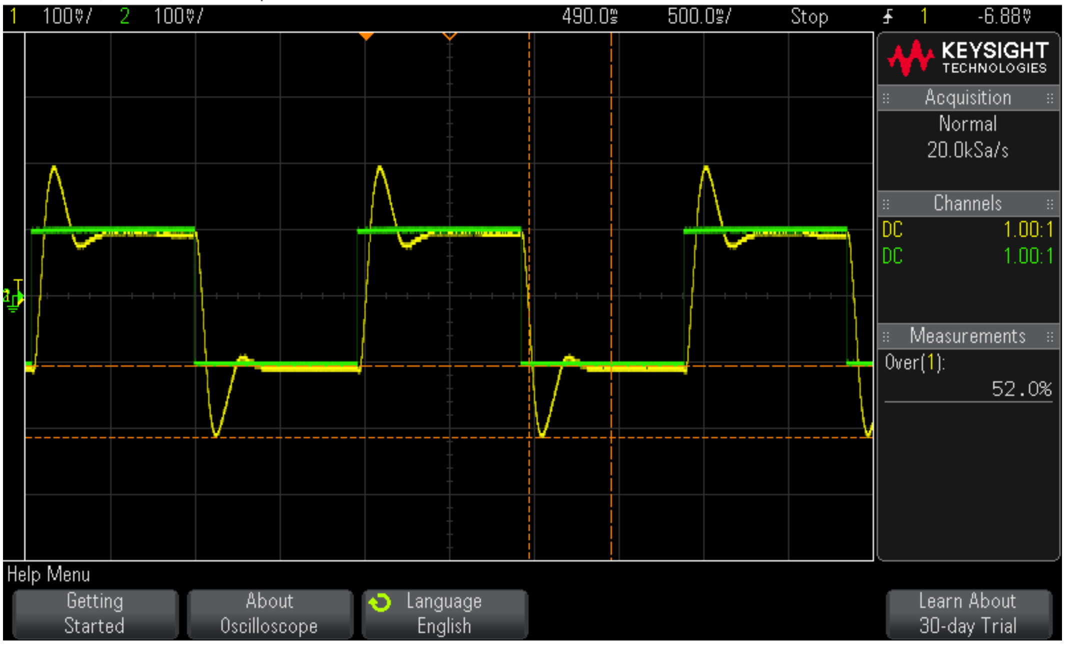
4. Indsæt nu PI-regulatoren fra forberedelsen og iagttag den stationære fejl. Sammenlign med forberedelsen.



PI-regulatoren er (s+10)/s, hvilket giver leddet 10=1/T, som igen betyder at T er lig 0,1 eller 100ms. PI-regulatoren skrues derfor op på maks. Den stationære fejl er blevet væsentlig formindsket, men der opstår et større %OS.

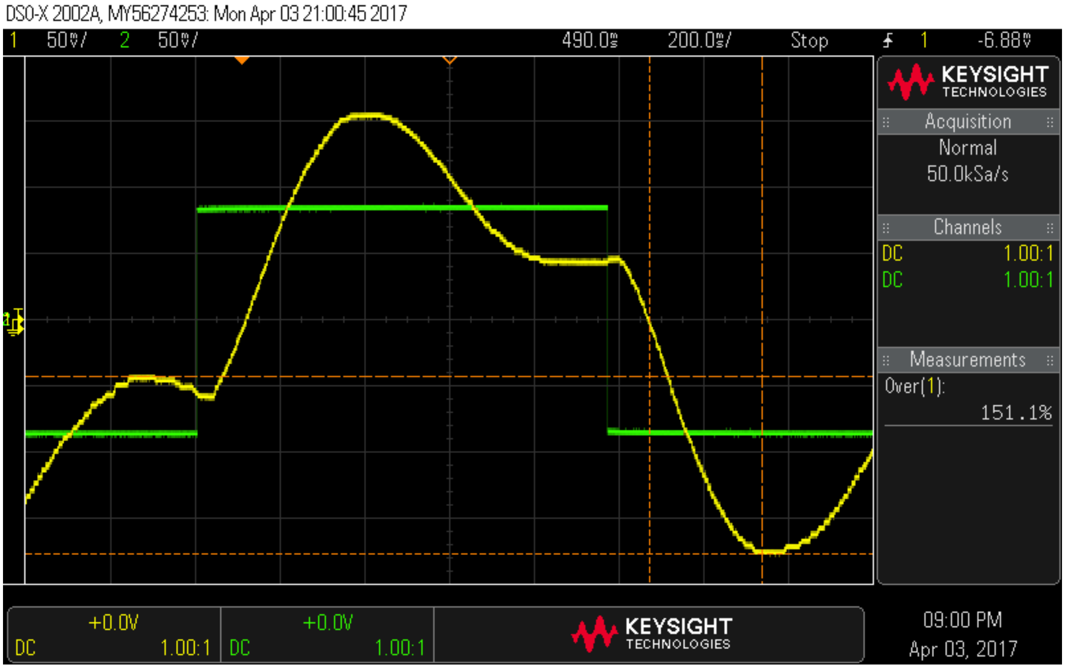
5. Brug igen firkanter, ±200mV og 0,5 Hz som reference. Iagttag oversvinget.
   Formindsk Ti og iagttag variationen af %OS. Forklar hvorfor.
   Formindsk i stedet forstærkningen og iagttag variationen af %OS.

DSO-X 2002A, MY56274253: Mon Apr 03 20:42:02 2017



Ved Ti = 100ms = maks, er overshootet 52%. Ti = 90ms giver 55%.Ti = 50ms giver 69%. Ti = 70ms giver 63%. Når Ti skrues ned kommer fasemarginen tættere på 0 og dermed ustabilitet.

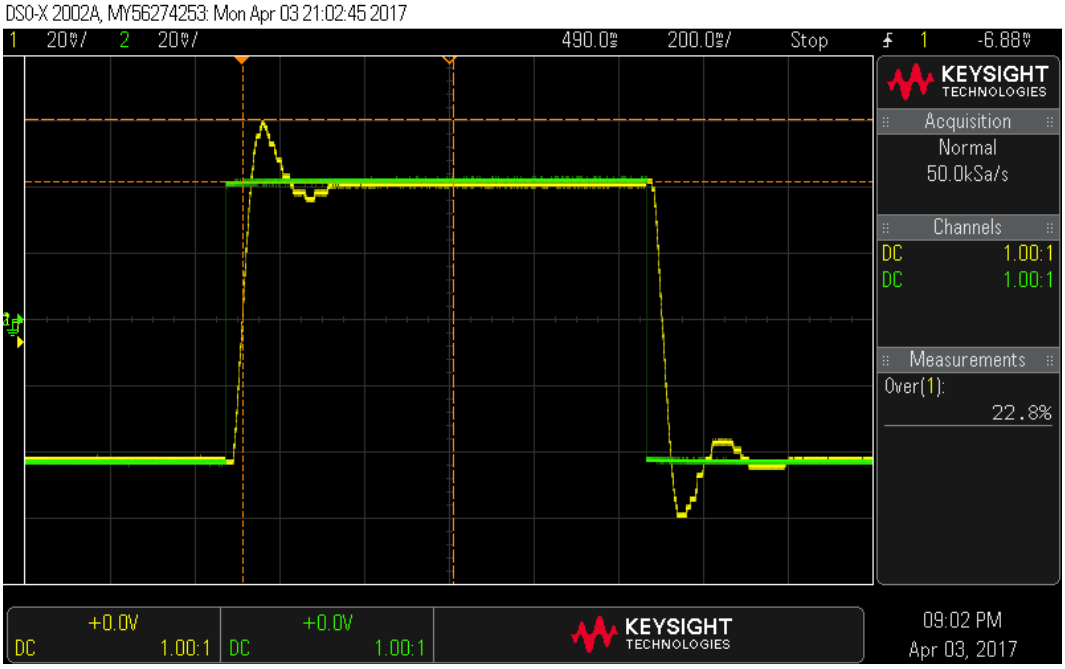
DSO-X 2002A, MY56274253: Mon Apr 03 21:00:45 2017



Når forstærkningen i stedet formindskes stiger settling time og den stationære fejl. Sættes Ti leddet på igen vil det forsøge at kompensere, hvilket resultere i at systemet begynder at oscillere. Og den når altså ikke på plads inden for en periode.

Efterfølgende anvendes PI-regulatoren ikke.

6. Indstil forstærkningen K_{PA} til 90, Brug firkanter, ±100mV og 0,5 Hz som reference og registrer oversvinget.

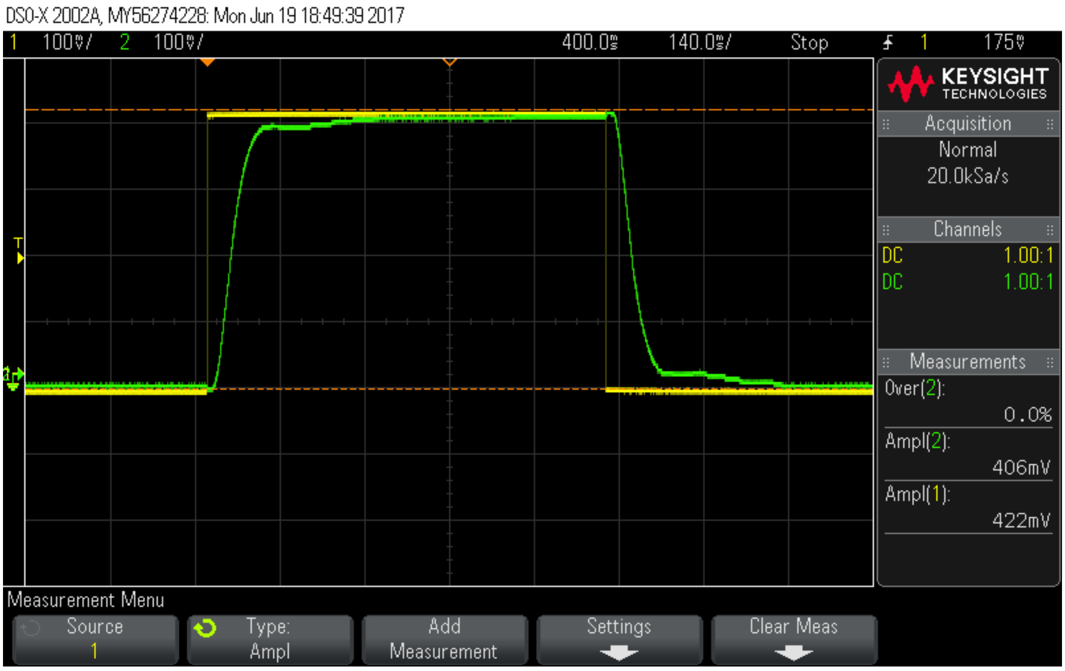


Oversvinget er 22,8%, hvilket ligger tæt på 19,7% fra simuleringen.

7. Realiser den Lead-regulator du har dimensioneret under forberedelsen. Lav målinger og sammenlign med resultatet fra simuleringen. Juster evt. Kc, T_D og T_L til et bedre resultat.

$K_P = 9$ $\quad$ $T_D = 20{,}3ms$ $\quad$ $T_L = 25{,}4ms$ $\quad$ $K_{PA} = 10$

$K_c = 7{,}8 * 10$



Forbedret Lead-regulator med justerede værdier for Kc, T_D og T_L.

$K_P = 0.78 \cdot 10$ $T_D = 0.94 \cdot 10ms$ $T_L = 26.4 \cdot 10ms$ $K_{PA} = 9$

$K_c = 0.78 \cdot 9 \cdot 10 = 70{,}2$