

Øvelse 5

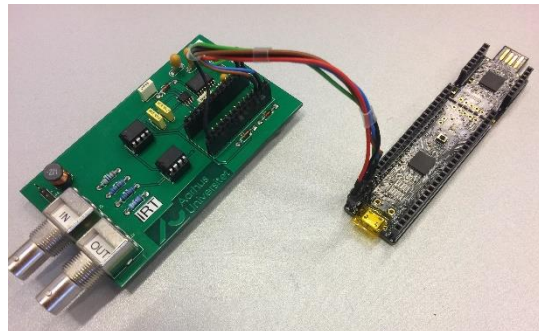
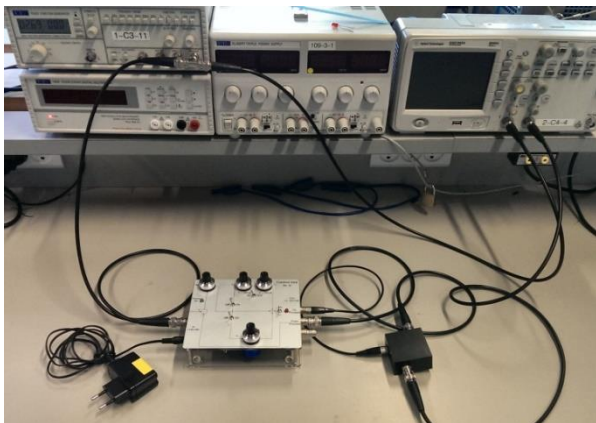
Blackbox med tidsforsinkelse & digital Lead regulator

Jonas Lind	201507296
Tais Hjortshøj	201509128
Marcus Andersen	201508863

Øvelsesobjekt

Øvelsesobjektet består af samme Blackbox, som blev anvendt i øvelse 1 og 3. Dog med den ændring, at der nu også kan sættes en tidsforsinkelse ind i åbensløjfen. Blackbox og tidsforsinkelse repræsenterer i det tilfælde tilsammen en 'proces'. På billedet nedenfor er vist Control box med effektforsyning fra en AC-adapter samt oscilloscope og funktionsgenerator som i øvelse 3.

Den digitale regulator udgøres af din PSoC5, forsynet med et konvertermodul (findes i skabet), så $\pm 10V$ signalniveauer kan behandles. "Processens" tidsforsinkelse, T_d , på 0,8 ms, er realiseret i PSoC'en.



PSoC5

med interface board

Formål

Formålet med øvelsen er:

- At underbygge forståelsen af bogens gennemgang af digital regulering
- At få kendskab til, hvorledes en analog regulator kan realiseres digitalt (bilineær transformation).
- At få kendskab til, hvorledes tidsforsinkelser influerer på reguleringssystemer.
- At få kendskab til, hvorledes valg af samplingfrekvens påvirker reguleringssystemer.
- At indøve brugen af Matlab på tidsdiskrete (digitale) reguleringssystemer.
- At få forståelse af samspillet mellem teori, simulering og måling.

Forberedelse

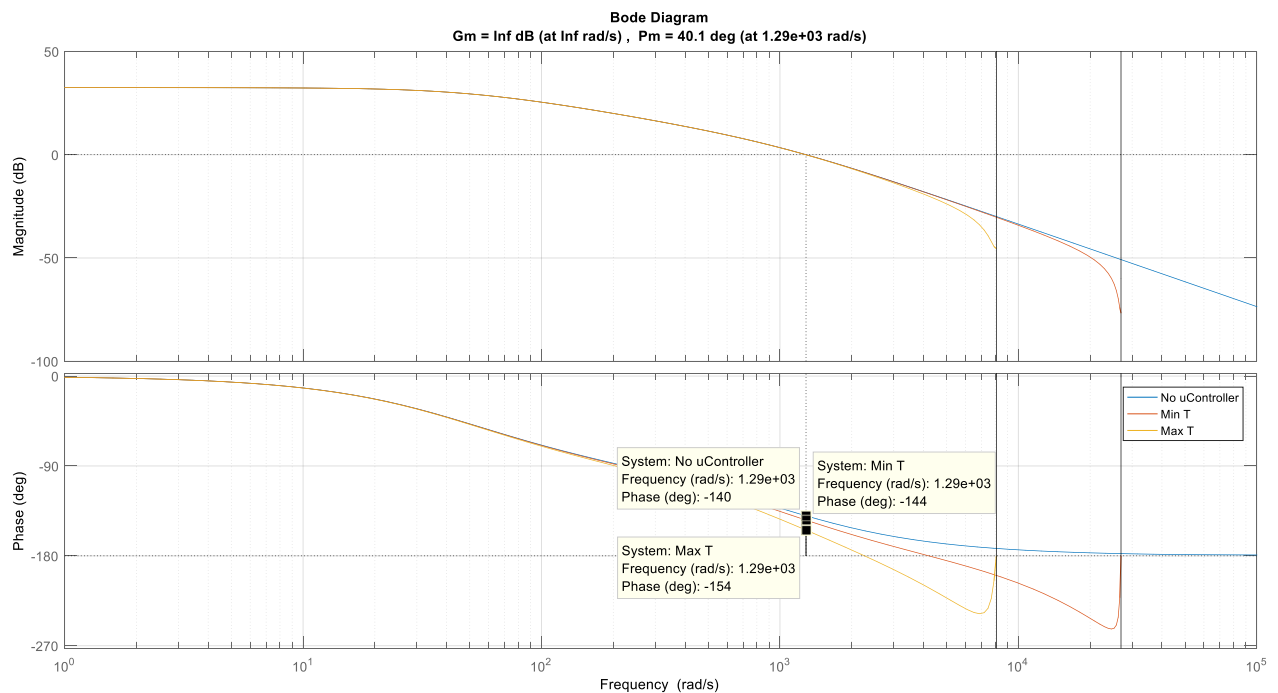
- 1) Med udgangspunkt i den analoge proportionalregulator fra øvelse 3 pkt. 1c) ($OS=30\%$, $K_p=4,2 \times 10$, $\omega_{\phi m}=1300 \text{ s}^{-1}$) undersøges det ved simulering, hvilken indflydelse det har på systemet, at PSoC'en med forstærkningen 1 gg indsættes i reguleringsløjfen efter summationspunktet.

Undersøg virkningen ved både den højest og lavest anbefalede samplingsfrekvens iflg. Åstrøm og Wittenmark. Verificer virkningen ud fra Bodeplot og stepresponse.

Ifølge Åstrøm og Wittenmark skulle sampleintervallerne ligge mellem

$$T_{min} = \frac{0,15}{\omega_{\phi m}} = 0,115 \text{ ms}$$

$$T_{max} = \frac{0,5}{\omega_{\phi m}} = 0,385 \text{ ms}$$



Amplitude og fasekarakteristikken fra Øvelse 3, med en $K_p = 42$, har en båndbredde på 1300 rad/s og en fasemargin på 40 grader.

Amplitude og fasekarakteristikken for T_{min} har en båndbredde på 1300 rad/s og en fasemargin på 36 grader.

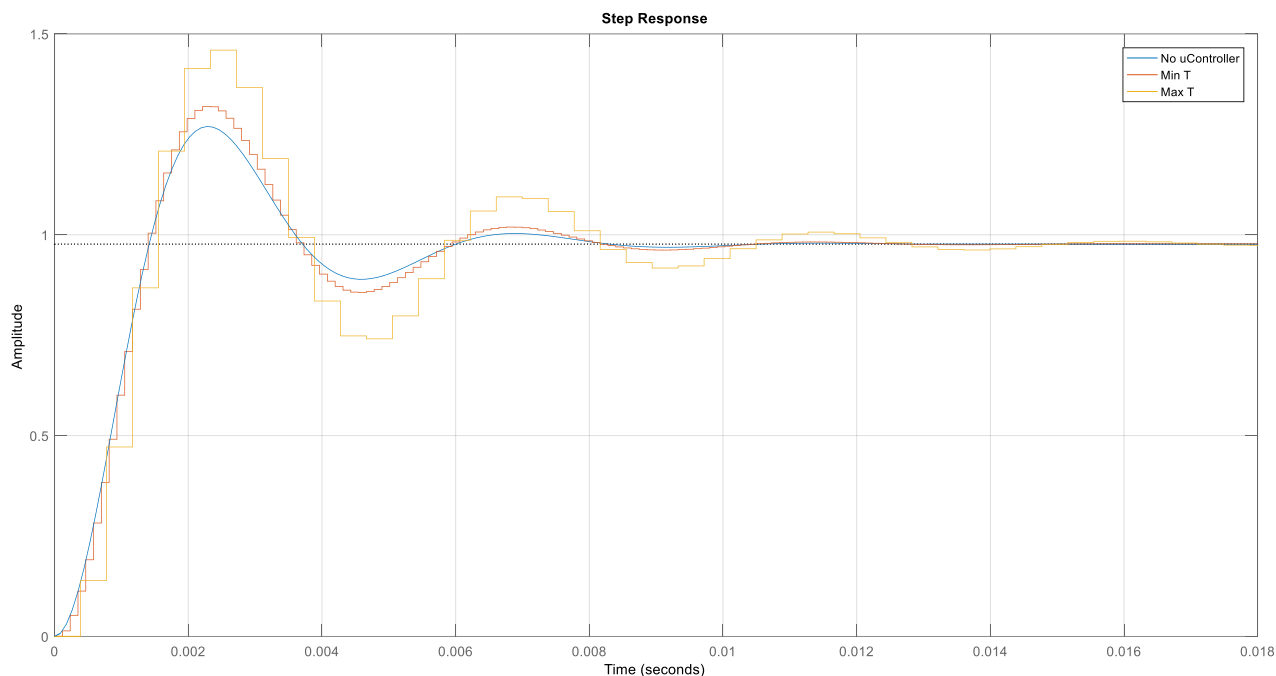
- $f_{smin} = \frac{1}{T_{min}} = 8670$

Amplitude og fasekarakteristikken for T_{max} har en båndbredde på 1300 rad/s og en fasemargin på 26 grader.

- $f_{smax} = \frac{1}{T_{max}} = 2600$

Det kan ses på amplitude og fasekarakteristikken at fasemarginen er mindre ved den lave samplingsfrekvens i forhold til den høje samplingsfrekvens.

I matlab blev kommandoen 'zoh' (holder input for sampleperioden som er defineret) anvendt. Det ses ud fra stepresponset at med en lavere samplingsfrekvens fås et større %OS og ved højere samplingsfrekvens så kommer den næsten til at ligne det analoge signal. Der skal samples forholdsvis hurtigt for at få samme resultat som den analoge regulator.

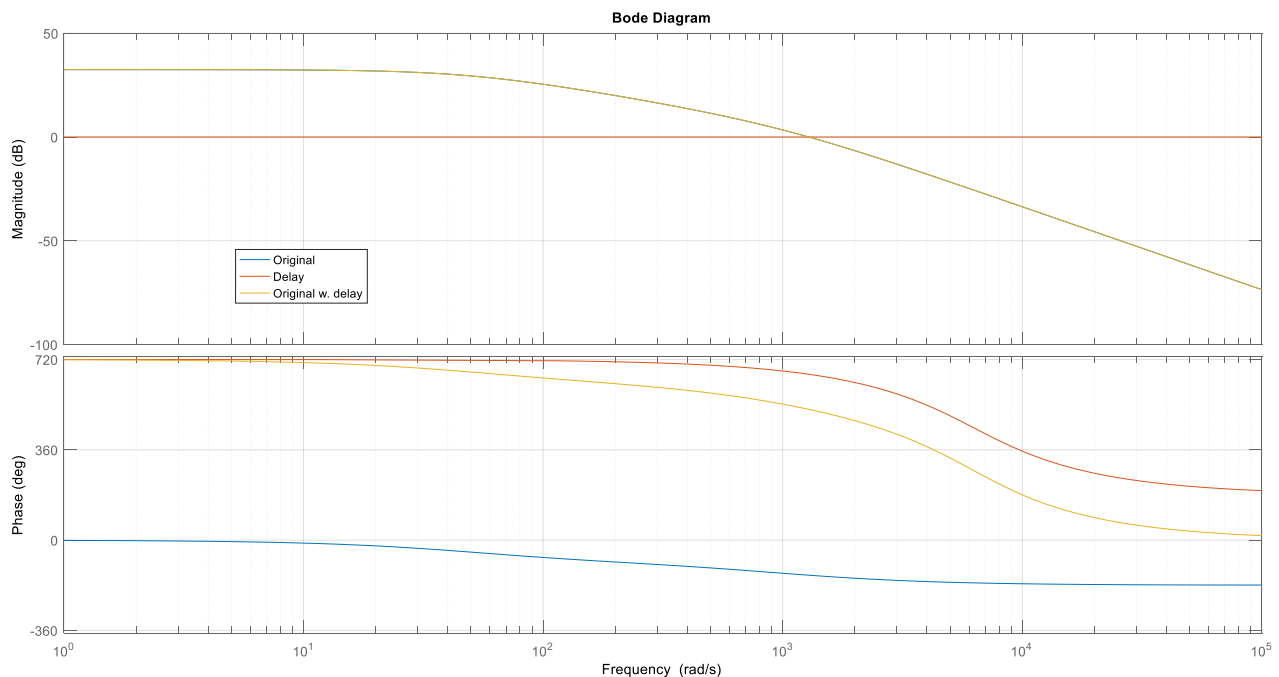


- 2) Vi vil efterfølgende forestille os, at der sammen med Blackbox-processen er en tidsforsinkelse på $T_d = 0,8 \text{ ms}$ i åbensløjfen. Beregn fasebidraget fra denne tidsforsinkelse og sammenlign åbensløjfe overføringsfunktionens frekvenskarakteristikker med og uden tidsforsinkelsen.

$$\varphi = \omega_{\varphi m} T_d \left(\frac{180}{\pi} \right) = -58,96^\circ$$

Hvordan forventes systemet nu at reagere?

- Vi har oprindeligt en fase margin på 40 grader. Bidraget på $-58,96$ grader vil derfor efterlade os med ca. -20 grader som gør at systemet er ustabil.
- Den røde kurve er tidsforsinkelsen, hvor det ses at der er et fasebidrag men ingen forstærkningsbidrag.



- 3) Design en analog lead- regulator $G_c(s)$ således, at der kompenseres for tidsforsinkelsen, T_d , idet der fortsat ønskes en fasemarginsfrekvens på ca. 1300 rad/s og et oversving på 30%.
- T_d giver en fase på -60 grader, derfor skal vi designe en lead som giver +60grader.

$$\phi_{m+} = 60$$

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

$$\beta = \frac{1 - \sin(\phi_{m+})}{1 + \sin(\phi_{m+})} = 0,0718$$

- Herefter skal T findes ud fra formelen

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

- T afgør placeringen af toppen for β (faseboblen).

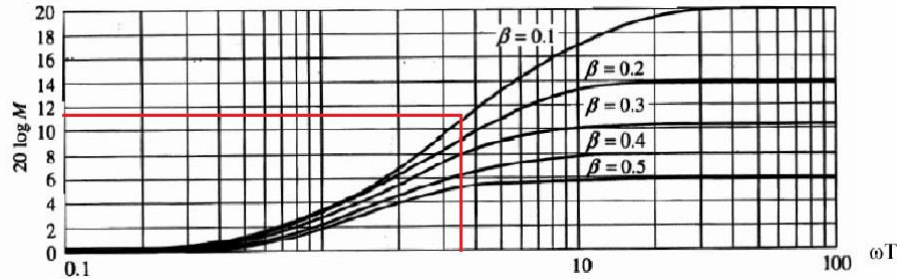
$$T = \frac{1}{\omega_{\phi m}\sqrt{\beta}} = 0,0029 = 2,9\text{ms}$$

- 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

$$T * \omega_{\phi m} = 0,0029 * 1290 = 3,72$$

- Dette findes på x-aksen og der finder det punkt på grafen hvor $\beta \sim 0,7$, her aflæses 11,5dB.



- Bidraget fra lead-regulatoren bliver dermed 0,269. Bidraget fra selve overføringsfunktionen var $K_p = 42$.

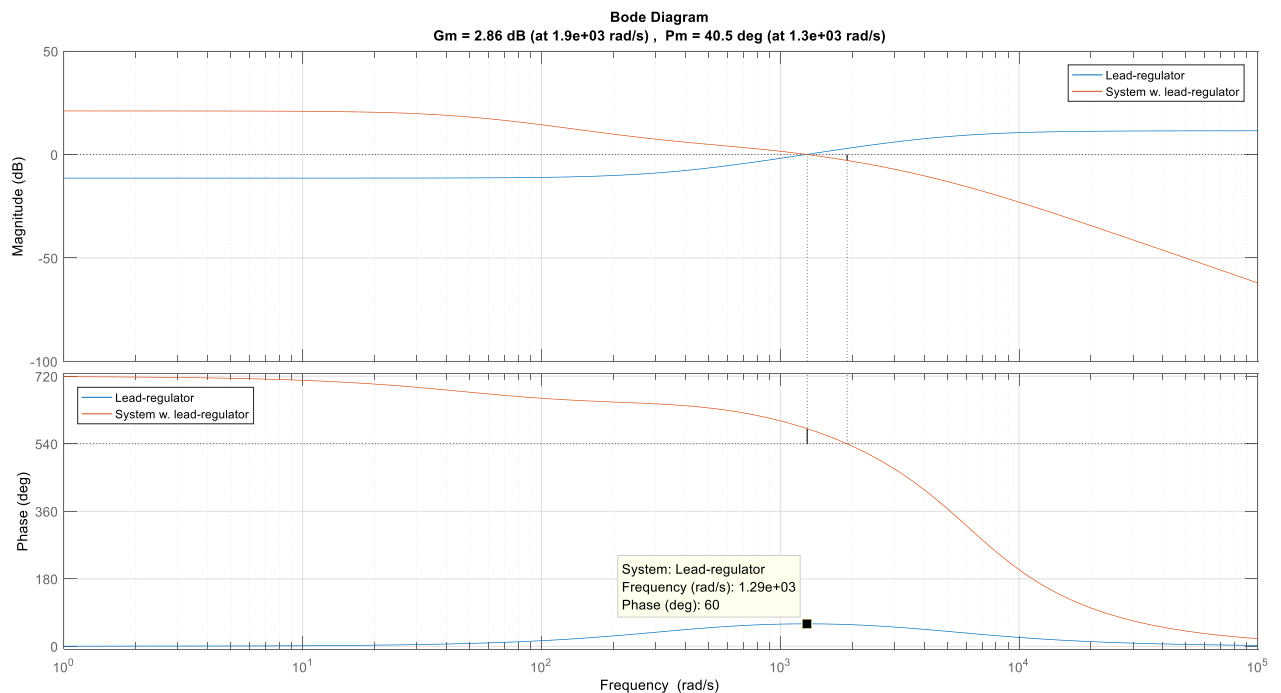
$$K_c = \frac{1}{10^{\frac{11,5}{20}}} = 0,269$$

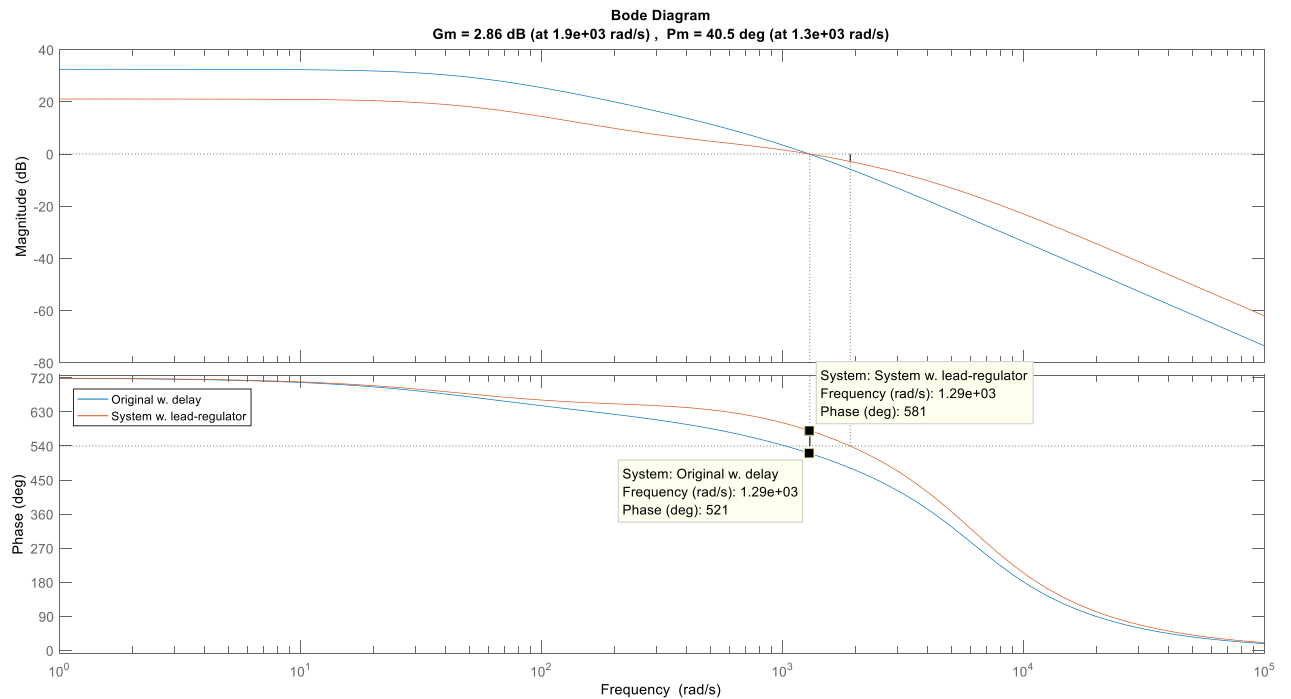
$$K_c = 0,269 * 42 = 11,3$$

- Overføringsfunktionen for lead-regulatoren er da

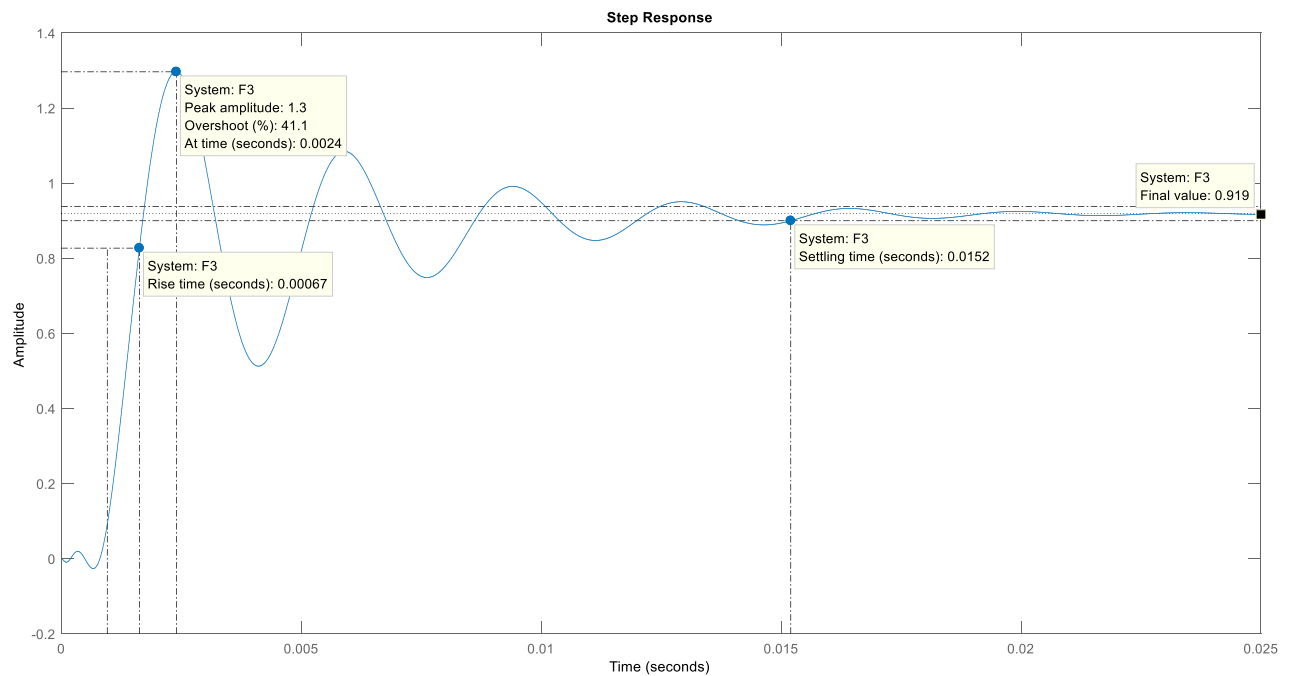
$$G_{lead} = 3,7488 \cdot \frac{s + 344,7}{s + 4801} K_c$$

- Verificer resultatet ud fra Bodeplot og simuler stepresponset i Matlab.





- Fasemarginfrekvensen er uændret. Fasemargin er hævet til 40,5 grader som er meget tæt på de 40,1, som var det oprindelige inden tidsforsinkelsen blev tilføjet.



- Stepresponset i lukket sløjfe efter indsættelse af lead-regulator. %OS er ikke 30% mere men derimod på 41,1%.

- 4) Beregn den digitale lead-regulator $G_c(z)$ ved en bilinear transformation (Matlab/ 'Tustin') af den i spm.3 beregnede analoge regulator $G_c(s)$.

Bringes på formen: $G_c(z) = k \frac{1-A_1 \cdot z^{-1}}{1-B_1 \cdot z^{-1}}$

$G_c(z)$ beregnes for 2 forskellige sampleintervaller: den størst anbefalede iflg. Åstrøm og Wittenmark og en 10 gange mindre.

```
%% Spørgsmål 4
Gs = G;
Gs_lead = G_lead*K;

% max T i Z
Gz_Tmax = c2d(Gs*Gd, T_max, 'zoh');
Gz_lead_Tmax = c2d(Gs_lead, T_max, 'tustin');
zpk(Gz_lead_Tmax)

% 10 gange mindre max T i Z
Gz_Tmin = c2d(Gs*Gd, T_max/10, 'zoh');
Gz_lead_Tmin = c2d(Gs_lead, T_max/10, 'tustin');
zpk(Gz_lead_Tmin)
```

$$Gz_lead_Tmax = \frac{86.91 (z-0.8744)}{(z-0.03465)} \quad Gz_lead_Tmin = \frac{144.98 (z-0.9867)}{(z-0.8293)}$$

Omregning til ønsket form.

$$G_{cTmax}(z) = 86,91 \cdot \frac{(z - 0,8744)}{(z - 0,03465)} = 86,91 \cdot \frac{(z - 0,8744)}{(z - 0,03465)} \cdot \frac{z^{-1}}{z^{-1}} = 86,91 \cdot \frac{(1 - 0,8744 \cdot z^{-1})}{(1 - 0,03465 \cdot z^{-1})}$$

$$G_{cTmin}(z) = 144,98 \cdot \frac{(z - 0,9867)}{(z - 0,8293)} = 144,98 \cdot \frac{(z - 0,9867)}{(z - 0,8293)} \cdot \frac{z^{-1}}{z^{-1}} = 144,98 \cdot \frac{(1 - 0,9867 \cdot z^{-1})}{(1 - 0,8293 \cdot z^{-1})}$$

- 5) Bestem overføringsfunktionen $G_0(z) = Z\{G_h(s)G_p(s)\}$ med Matlab ('zoh'), idet tidsforsinkelsen medregnes i processen $G_p(s)$. Tidsforsinkelsen tilnærmes i Matlab ved en 3.ordens Padé- approksimation. Beregn overføringsfunktionerne for begge de 2 samplefrekvenser fra pkt.4 ovenfor.

```
GzFull_Tmax = Gz_Tmax*Gz_lead_Tmax
GzFull_Tmin = Gz_Tmin*Gz_lead_Tmin
```

```
GzFull_Tmax =
```

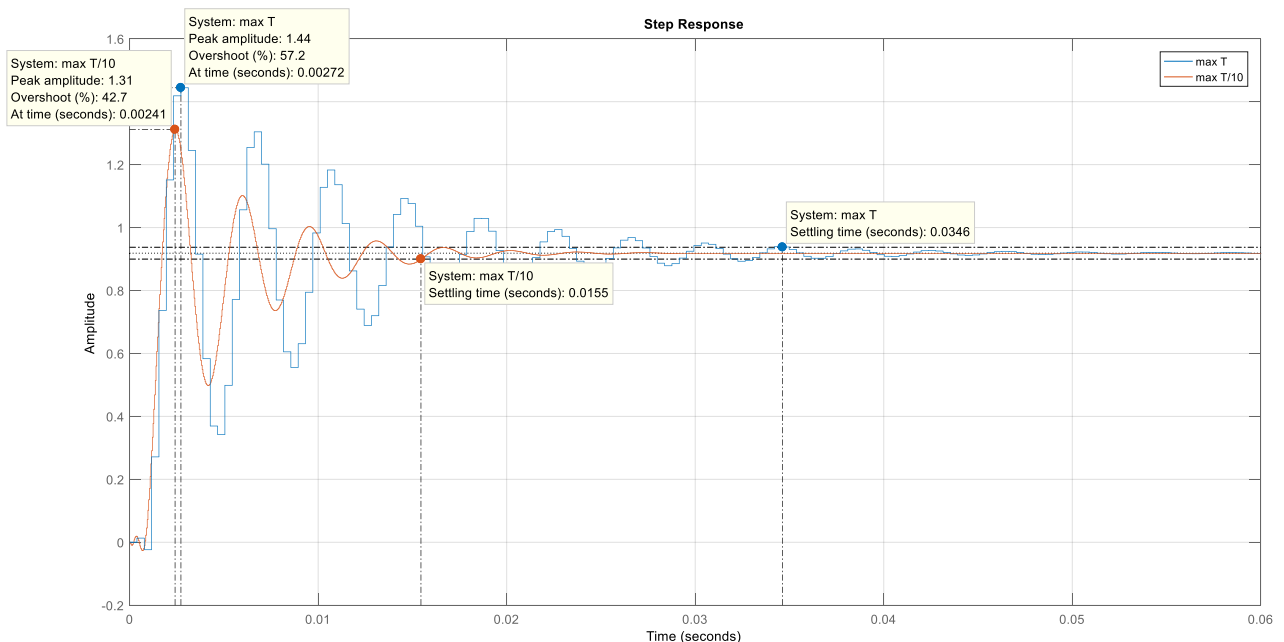
$$\frac{0.013264 (z-0.8744) (z+0.5326) (z+0.06338) (z^2 - 4.251z + 27.19)}{(z-0.9808) (z-0.6779) (z-0.1047) (z-0.03465) (z^2 + 0.04476z + 0.02804)}$$

```
GzFull_Tmin =
```

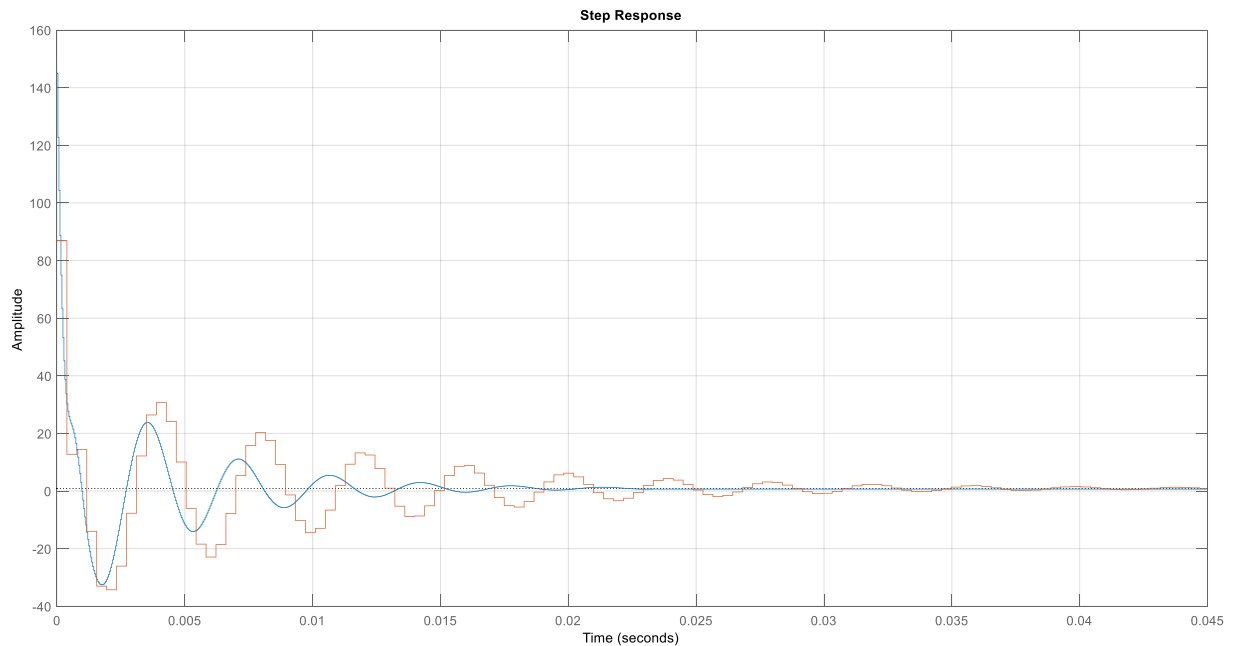
$$\frac{-0.0035807 (z+0.6715) (z-0.9867) (z-1.253) (z^2 - 2.357z + 1.43)}{(z-0.9981) (z-0.9619) (z-0.8293) (z-0.798) (z^2 - 1.648z + 0.6995)}$$

- 6) Med ovenstående regulatorer simuleres lukketsløfjesystemets steprespons i Matlab for begge samplingfrekvenser. Kommenter resultaterne i forhold til anbefalingerne i kap13.10, Åström og Wittenmark's guidelines. Undersøg signalet på både proces indgang og udgang og overvej evt. mætningsproblemer.

Sampleværdierne der bliver holdt kan tydeligvis ses, som et resultat af den lave samplingshastighed. Ved langsommere sampling, jo større oversving.



Figur 1 - Signal på proces udgang.



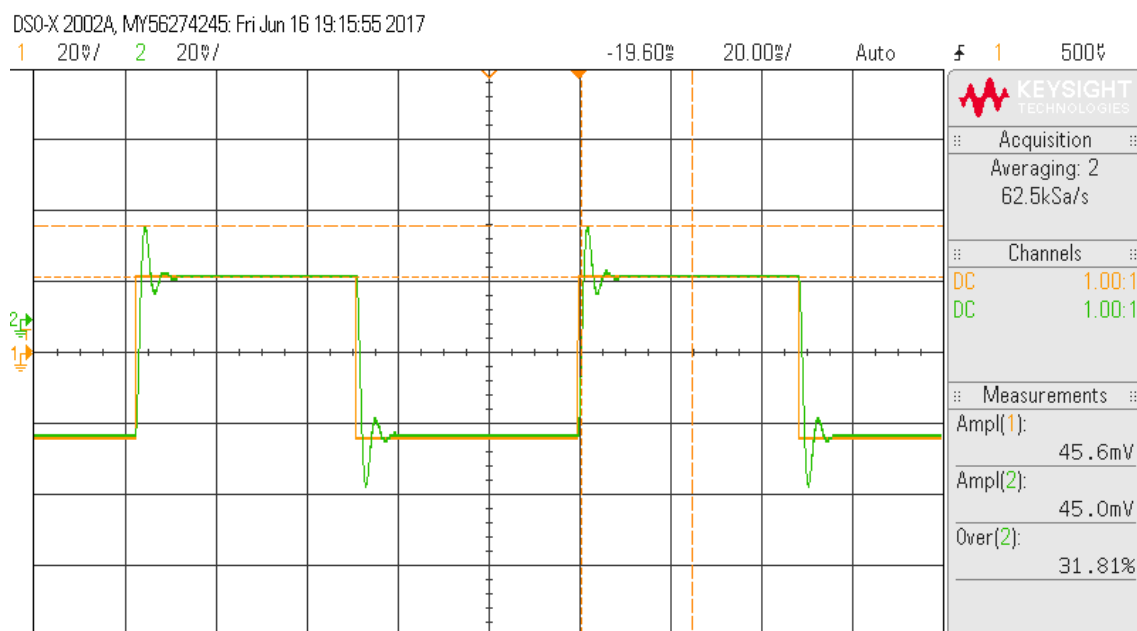
Figur 2 - Signal på proces indgang.

Stepresponset på processindgangen viser de første samples til processen er høje og dermed risikeres at værdien på indgangen er større end på udgangsområdet på DAC'en. Systemet kan derfor opføre sig anderledes end forventet. Det ses også at indsvingningen på indgangen er mindre ved højere sampefrekvens.

Øvelsen

Vigtigt! Teorien gælder kun så længe ingen af enhederne overstyres. Hold øje med overstyringsindikatorerne på reguleringsboksen.

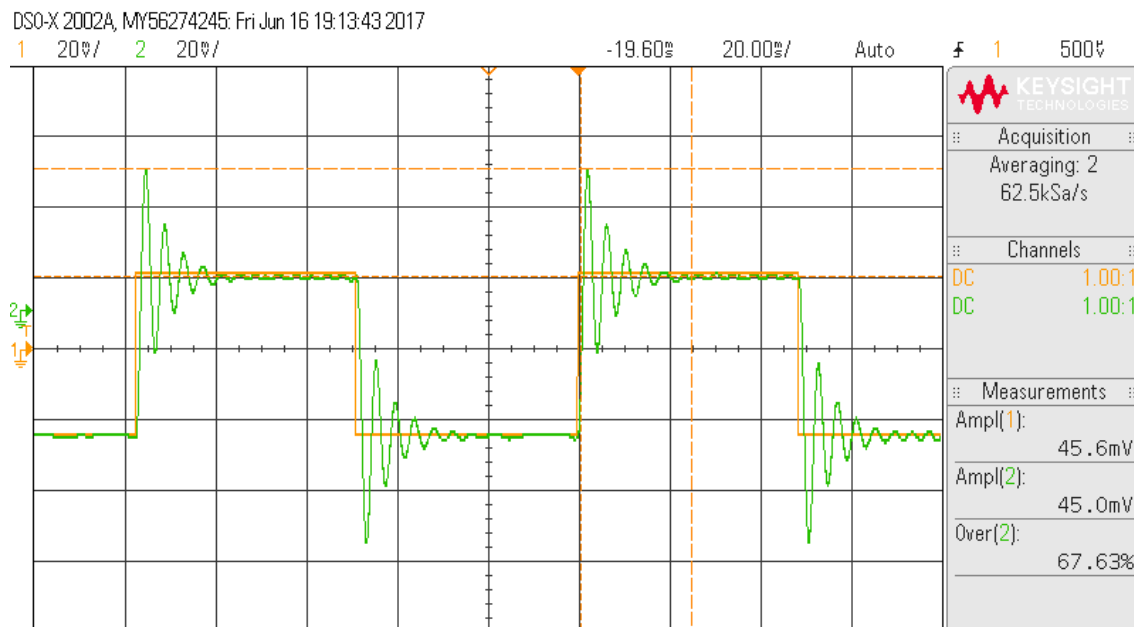
- a) Koppel systemet op som i øvelse 3 pkt. 1 c), dvs. med en proportionalforstærker $K_p=4,2 \times 10$, der giver: $OS=30\%$ og $\omega_{gm}=1300 \text{ s}^{-1}$. Kontroller systemets funktion.



Figur 3 - Vores opkobling inden vi sætter PSOC'en ind.

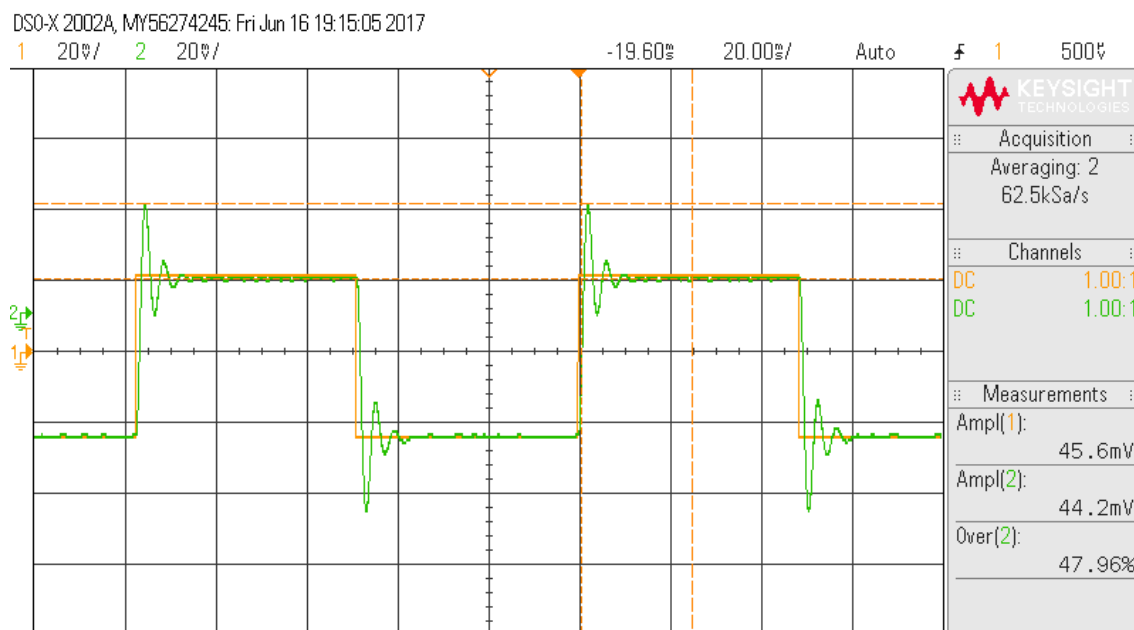
- b) Undersøg nu hvilken indflydelse samplefrekvensen (højeste og laveste) har på processen, ved at indsætte PSoC'en mellem Controller Box og Blackbox'en.

Signalniveauet på referencen til lukketsløjfen forventes i området $\pm 50\text{mV}$, 30Hz.



Figur 4 - Laveste samplefrekvens (2597 Hz)

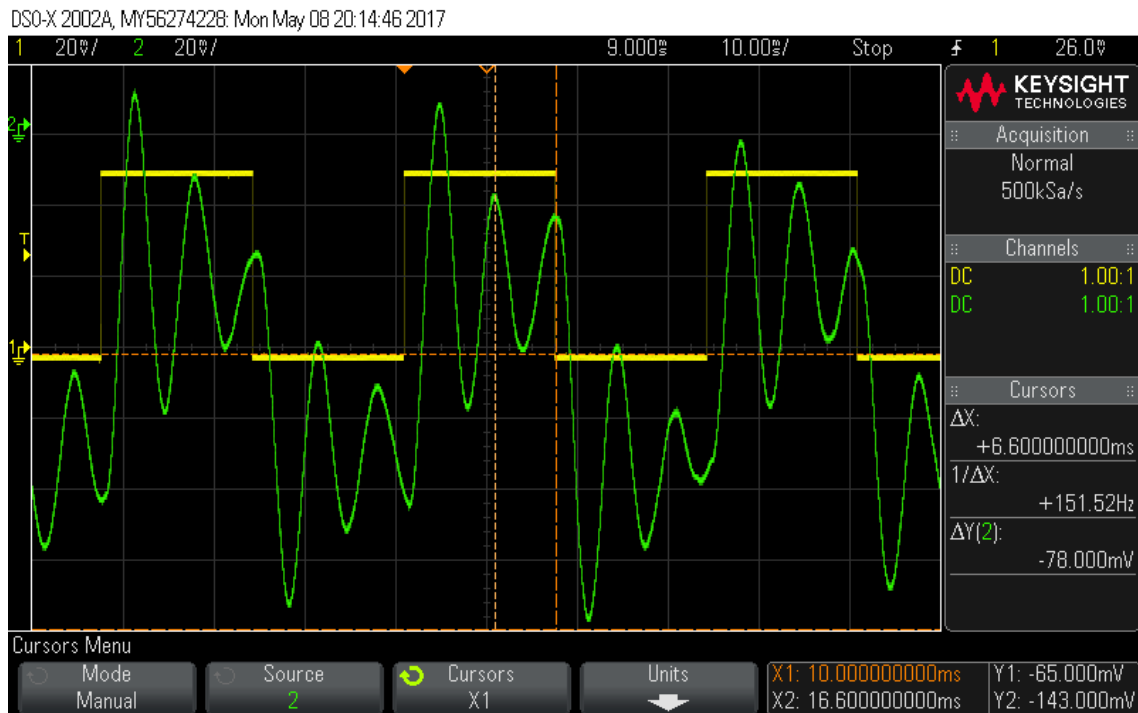
Vi har 32% OS inden PSoC'en bliver indsat. Efter PSoC'en indsættes ændres %OS til 68% med den laveste samplefrekvens på 2600 Hz.



Figur 5 - Højeste samplefrekvens (8696 Hz)

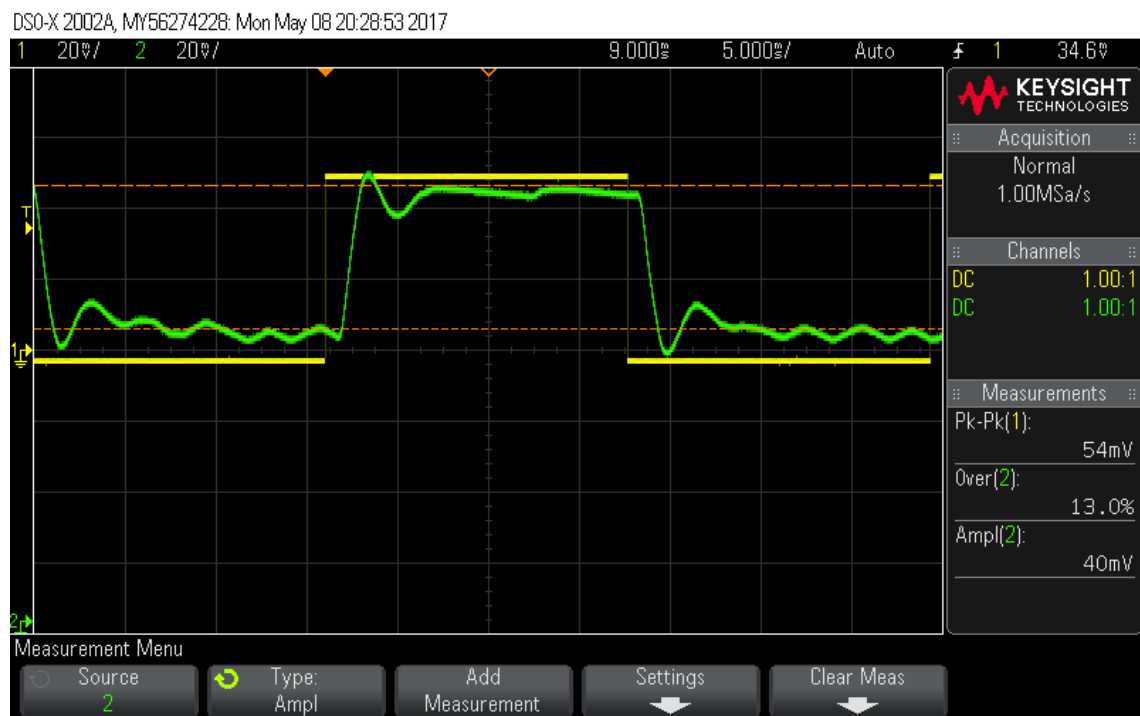
Ved en højere samplingsfrekvens på 8670 Hz er der et væsentlig mindre %OS på 48%. Dermed er det som forventet at ved højere samplerate vil oversvinget blive mindre.

- c) Undersøg nu hvilken indflydelse tidsforsinkelsen T_d har på processen, ved at lade PSoC'en realisere den tænkte tidsforsinkelse i Blackbox'en.
- I denne situation skal forstærkningen gennem PSoC'en blot være 1 og med laveste samplefrekvens. Systemet forventes nu at blive ustabil (Mætningsdioden lyser). Juster på forstærkningen ned fra $K_p=4,2 \times 10$, så der ikke er mætning, og der ses et sædvanligt stepsvar. Forøg K_p indtil systemet netop er stabilt og iagttag samtidig hvilken frekvens systemet svinger med, umiddelbart før ustabilitet.
- Hvorfor er det netop den frekvens systemet svinger med?
- Frekvensen er lidt under vores fasemargin frekvens.

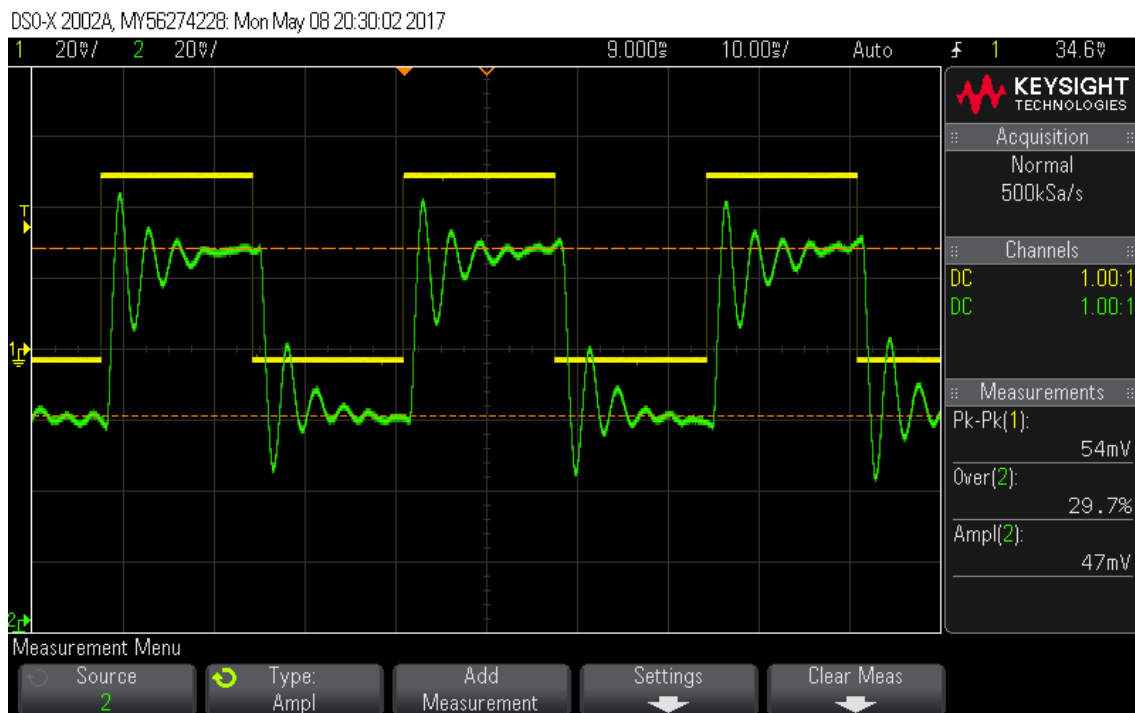


Figur 6 - Systemets frekvens lige inden det begynder at svinge er 151Hz. Hvilket er 950rad/s

- d) Afprøv den dimensionerede digitale lead-regulator fra forberedelsen. Dokumenter virkningen ved stepresponse og sammenhold med Bodeplot. Det er dog kun relevant at benytte 'den lave samplingfrekvens', da resultatet i pkt.4 giver en forstærkning større end 100 for den høje samplefrekvens (kan ikke realiseres på vort udstyr).



Figur 7 - 4-22GG med lead filter på. OS er noget mindre end 30 %



Figur 8 - Vi prøver at skruer forstærkning op til vi når 30%. Her 4-33GG forstærkning.