

Øvelse 6

DC-motoren som positionsservo med digital Lag- regulator

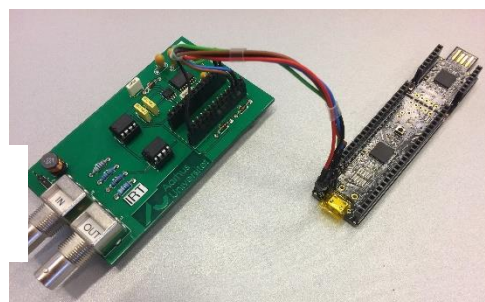
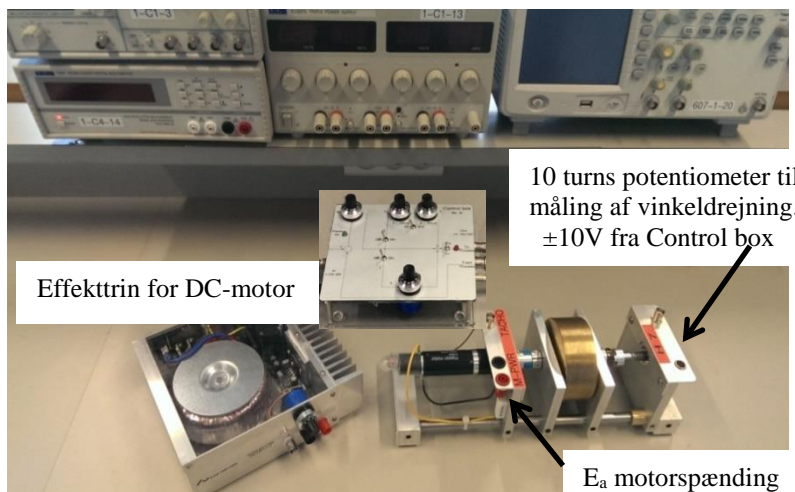
| | |
|-----------------|-----------|
| Jonas Lind | 201507296 |
| Tais Hjortshøj | 201509128 |
| Marcus Andersen | 201508863 |

Øvelsesobjekt

Øvelsesobjektet består af samme motorstand, som blev anvendt i øvelse 2 og 4. (Motor, tachometer, gear, ekstra inertibelastning og potentiometeret til måling af vinkeldrejning). Nu tænkes systemet dog også tilføjet tidsforsinkelsen $T_d = 0,8$ ms.

Tillige bruges et oscilloscope, funktionsgenerator, Power Amplifier (K_{PA}) og Control box (K_p), hvortil tilsluttes dit PSoC5-modul til realisering af den digitale regulator.

PSoC'en påmonteres et konvertermodul, så $\pm 10V_{pp}$ signalniveauer kan behandles (se billede).

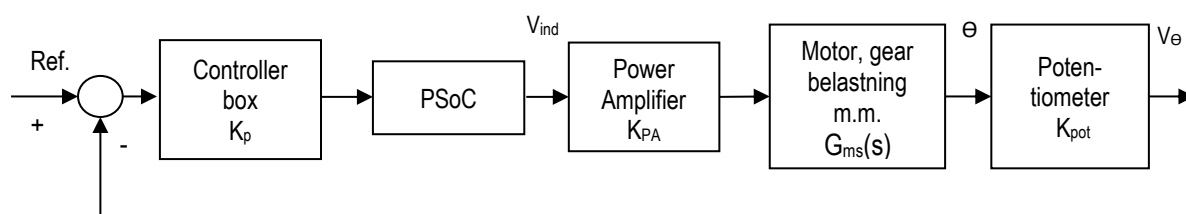


PSoC5
med interface board

Formål

- 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 for samspillet mellem teori, simulering og måling.

Systemoversigt

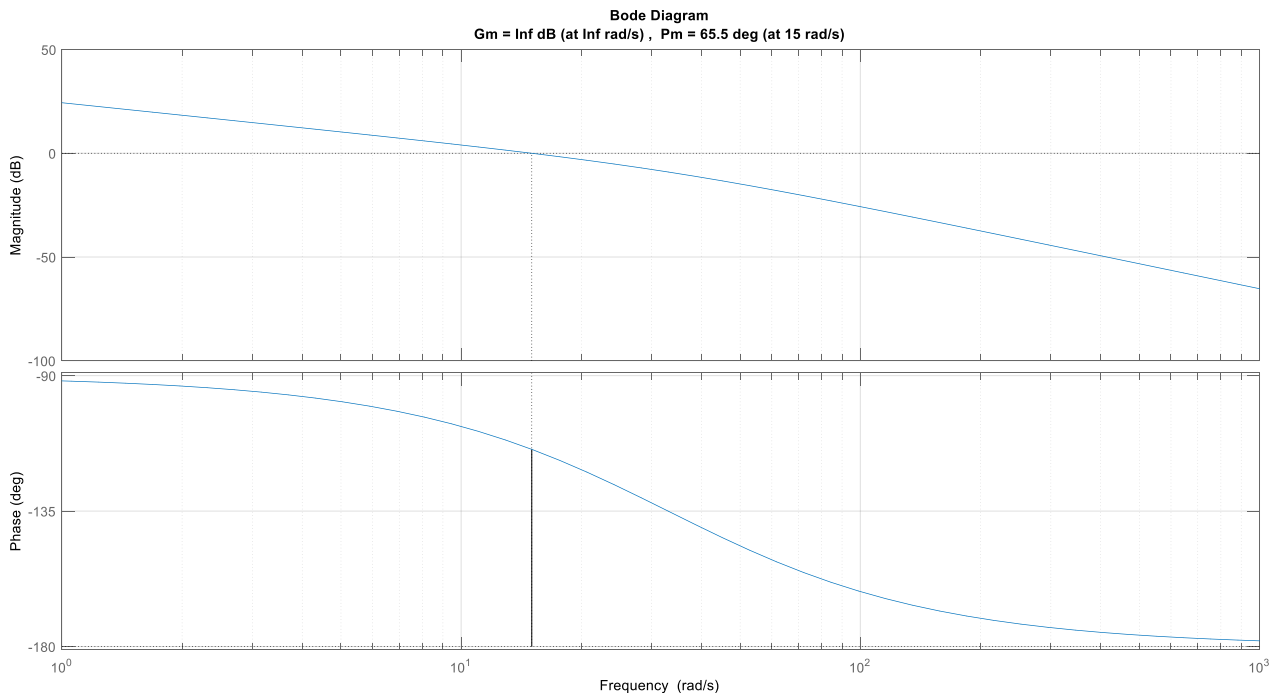


Forberedelse

Power Amplifier og Motorstand med potentiometer til måling af vinkeldrejningen, har overføringsfunktionen

$$G(s) = \frac{V_{\theta}(s)}{V_{ind}} = K_{PA} \cdot K_p \cdot 10 \frac{14,34}{s(s + 33)}$$

Med $K_{PA} = 3,8$ og Control box: $K_p=1$ Gain x10, er systemets fasemarginfrekvens, $\omega_{\phi m} = 15$ rad/s.



Figur 1 - Bodeplot for systemet $G(s)$.

1. Undersøg hvilken indflydelse, det har på systemets stepresponse, at PSoC'en med forstærkningen 1 gg indsættes i reguleringsløjfen efter Control box'en.

Undersøg virkningen ved både den højest og lavest anbefalede samplingsfrekvens iflg. Åstrøm og Wittenmark.

$$T_{min} = \frac{0,15}{\omega_{\phi m}} = 10ms$$

$$T_{max} = \frac{0,5}{\omega_{\phi m}} = 33,3ms$$

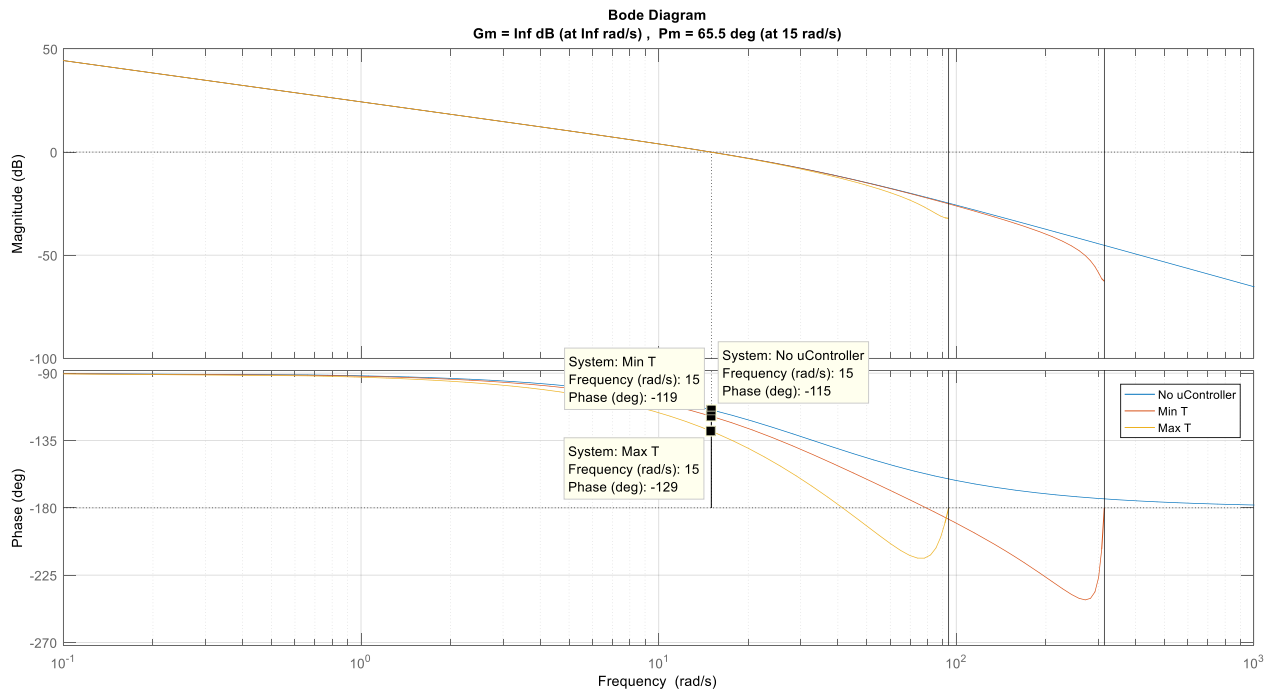
$$f_{smin} = \frac{1}{T_{min}} = 100Hz$$

$$f_{smax} = \frac{1}{T_{max}} = 30Hz$$

Amplitude og fasekarakteristikken for systemet med en forstærkning $K_{pa} = 3,8$, har en båndbredde på 15 rad/s og en fasemargin på 65,5 grader.

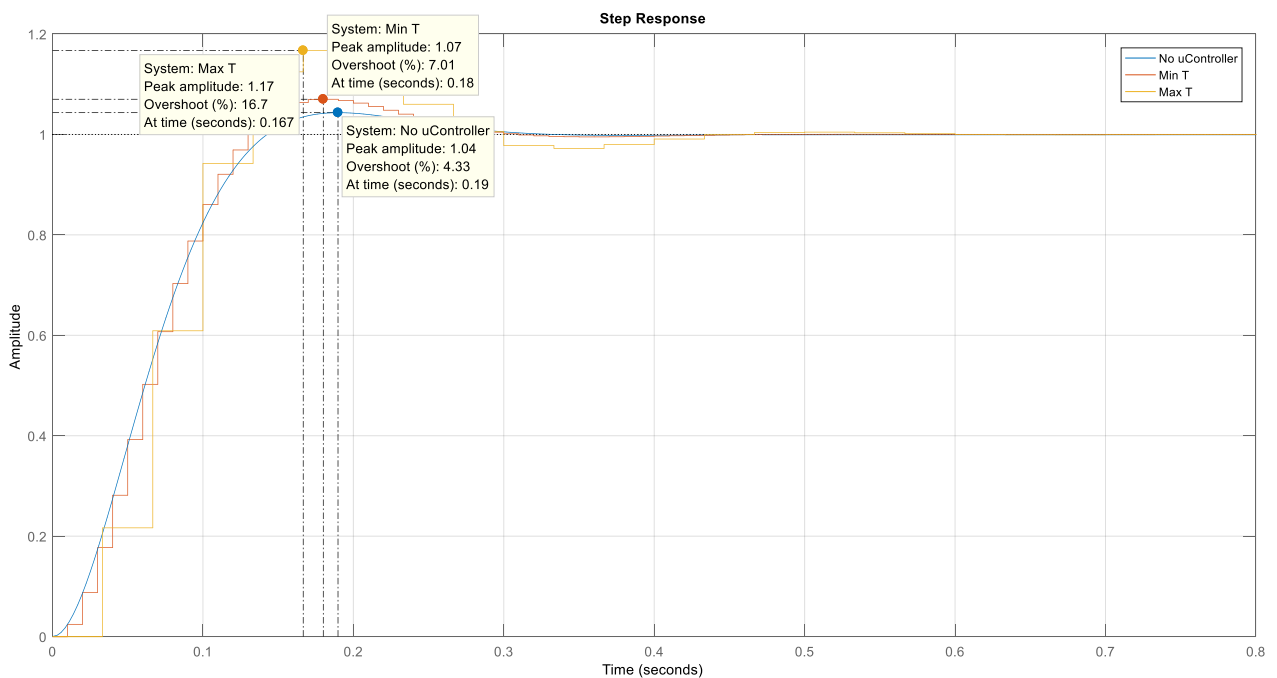
Amplitude og fasekarakteristikken for T_{min} har en båndbredde på 15 rad/s og en fasemargin på 61 grader.

Amplitude og fasekarakteristikken for T_{max} har en båndbredde på 15 rad/s og en fasemargin på 51 grader.



Figur 2 - Bodeplot af systemet med tidsforsinkelsen for sampling med højeste og laveste samplingsfrekvens.

Det kan ses på amplitude og fasekarakteristikken at fasemarginen er mindre ved den lave samplingsfrekvens i forhold til den høje samplingsfrekvens. Den lav samplingsfrekvens indfører et fasebidrag på ca. -14 grader, mens den høje samplingsfrekvens på ca. -4 grader. Der skal derfor samples hurtigt for at få det samme som det analoge system.



Figur 3 - Stepresponst af systemet med tidsforsinkelsen for sampling med højeste og laveste samplingsfrekvens.

Sample intervallet T medfører en forsinkelse af signalet på $T/2$.

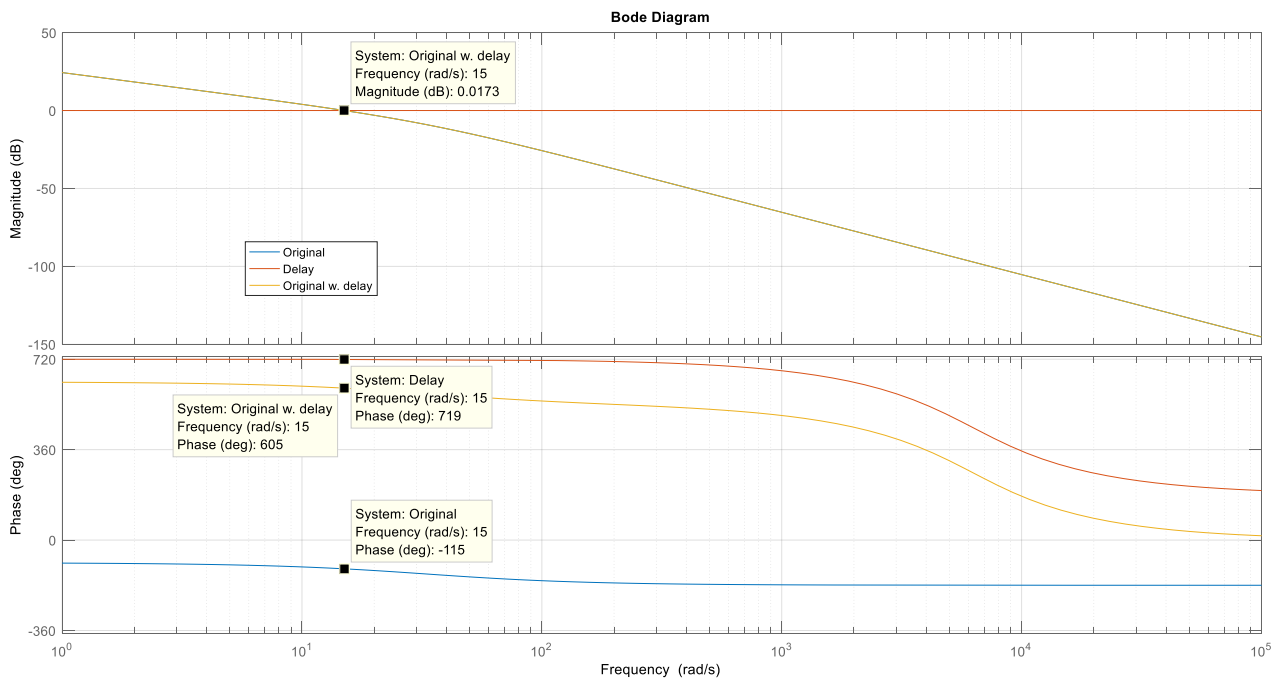
Verificer undersøgelserne ud fra Bodeplot og stepresponse.

Den z-transformerede overføringsfunktion af processen bestemmes som: $G(z) = Z\{G_h(s) \cdot G(s)\}$.

2. Vi vil efterfølgende forestille os, at der sammen med Motorstanden er en tidsforsinkelse på $T_d = 0,8$ ms. Beregn fasebidraget fra denne tidsforsinkelse og sammenlign med åbensløjfe overføringsfunktionens frekvenskarakteristikker. Hvordan forventes systemet nu at reagere? Er det nødvendigt at medregne en sådan tidsforsinkelsen ?

- Fasebidraget er på 0,69 grader, hvilket er så lavt at det kan undlades at medregne.
- Det er kun relevant at medregne tidsforsinkelsen hvis båndbredden er høj, som i Øvelse 5.

$$\varphi = \omega_{\varphi m} T_d \left(\frac{180}{\pi} \right) = -0,69^\circ$$



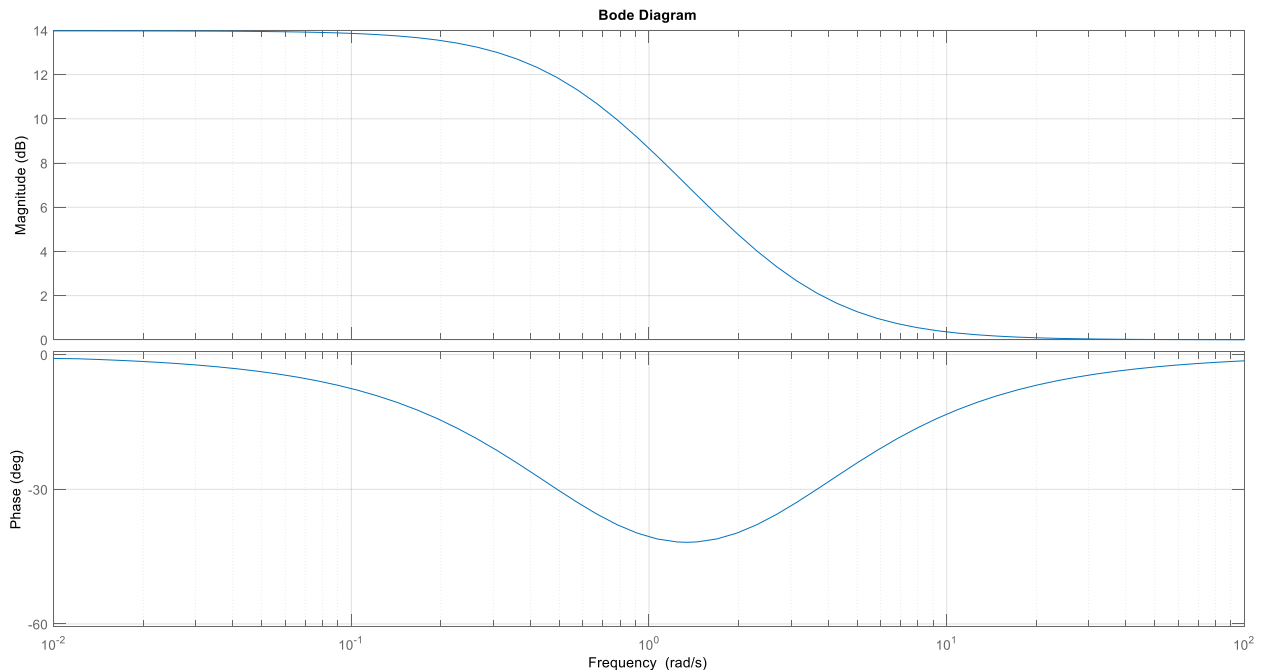
Figur 4 - Bodeplot af systemet med og uden tidsforsinkelse.

Fasen er flyttet til 720 grader ($2 \cdot 360$) pga. "unwrap fase". Fasemarginen for systemet med tidsforsinkelsen er fortsat $605 - 540 = 65$ grader.

3. Verificer ud fra Bodeplot Lag-regulatorens forventede påvirkning af stationære- og dynamiske egenskaber for positionsservoen. Følgende overføringsfunktion for en Lag-regulator anvendes efterfølgende:

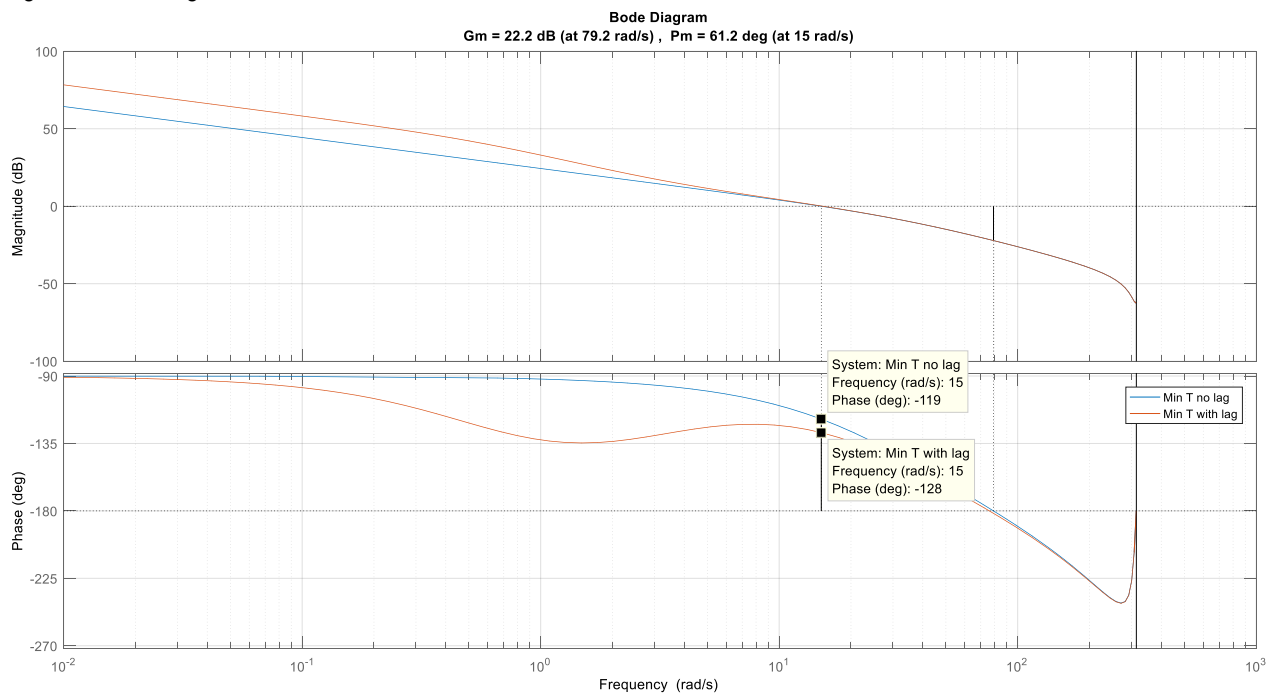
$$G_c(s) = \frac{s + 3}{s + 0,6}$$

Lag-regulatoren forventes at øge forstærkningen ved de lave frekvenser, uden at ændre særlig meget ved de dynamiske egenskaber, altså uden at ændre på fasemargin.

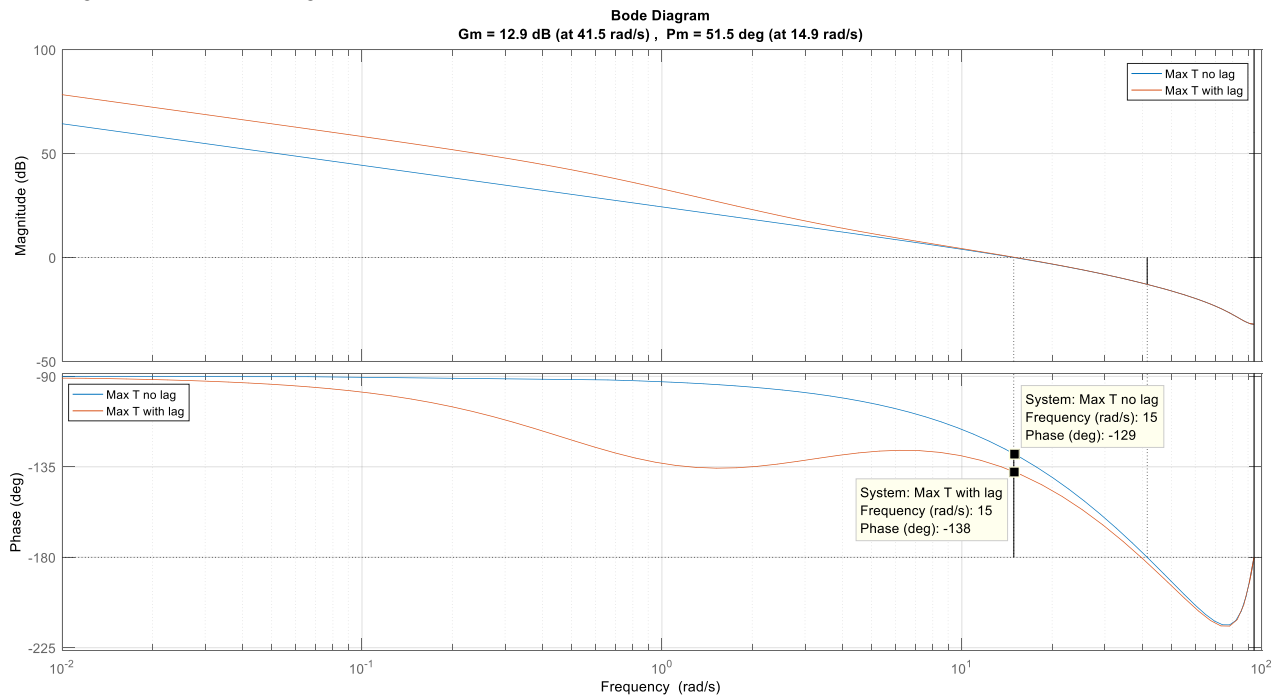


Regulatoren er ikke designet rigtigt da fasebollen ligger 5 gange under fasemarginsfrekvensen i stedet for de 10 som vi har lært der skal anvendes. Det medfører et negativt fasebidrag på 9 grader i stedet for ca 6 grader som normalt vil være.

Ved design af en lag-regulator vil man have den så tæt på fasemarginsfrekvensen som overhovedet muligt, for at få et hurtigt system. Bliver den dimensioneret til at ligge tættere på DC, vil systemet blive langsommere, men med et mindre negativt fasebidrag.



Bodeplot for systemet uden lag-regulatoren (blå) og med lag-regulatoren (rød). DC-forstærkningen er hævet men fasemarginen er blevet ca. 9 grader mindre.



4. Simuler lukket sløjfe systemets ramperespons (hældning $a = 0,4$). Simuler for den højest anbefalede samplingfrekvens uden Lag-regulator og med Lag-regulator. Den digitale Lag-regulator bestemmes ved en bilinear transformation (Matlab/ 'Tustin') af den analoge Lag-regulator G_c .

Den z-transformerede overføringsfunktion af processen bestemmes som: $G(z) = Z\{G_h(s)G(s)\}$, ved brug af Matlab, 'ZOH'.

Nedestående Matlab kommandoer vil danne rampe-svaret for overføringsfunktionen Tz :

```
t = 0:T:4;
x = sawtooth(4*pi/4*t,0.5);
y = lsim(Tz,0.2*x);
plot(t,0.2*x,'r',t,y,'g');
```

Beregn den stationære fejl teoretisk og sammenlign med resultaterne fra simuleringen. Kommenter indsvingningsforløbet.

$$K_{PA} = 3,8$$

$$K_p = 10$$

$$G(s) = K_{PA}K_p \frac{14,34}{s(s + 33)}$$

$$e(\infty) = \frac{a}{Kv}, a = 0,4 \text{ V}$$

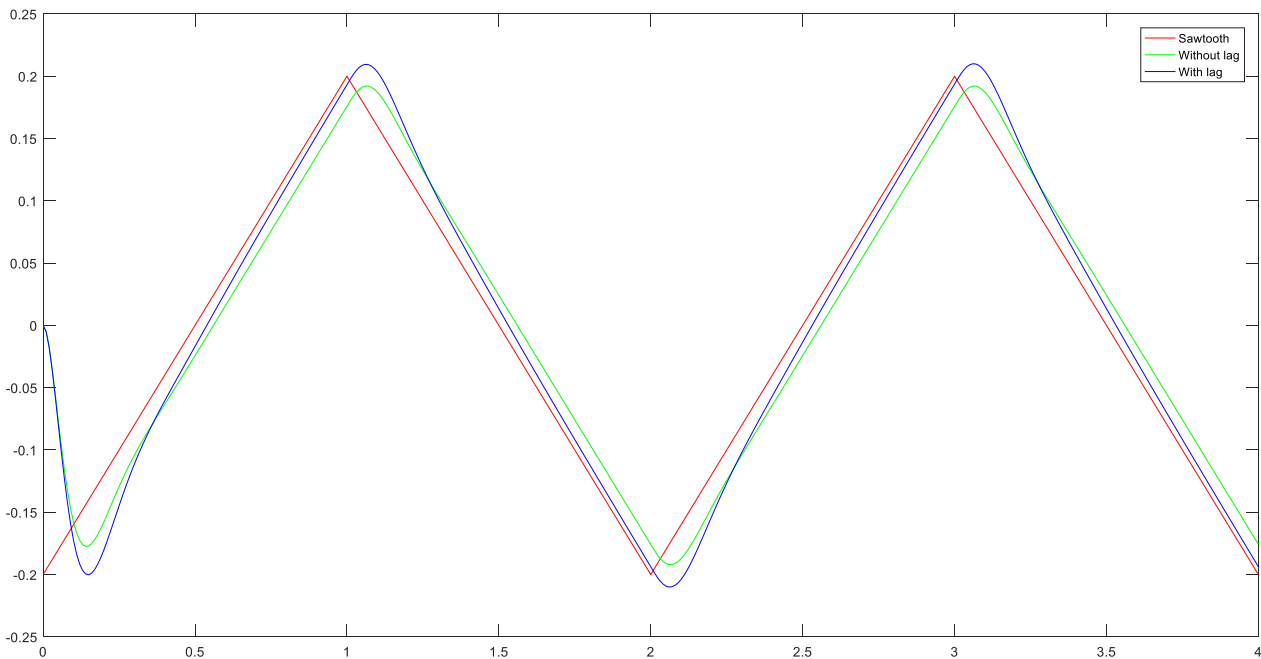
$$G_c(s) = \frac{s + 3}{s + 0,6}$$

Uden Lag regulatoren

- $Kv = \lim_{s \rightarrow 0} (s \cdot G_c(s) \cdot G(s)) = s \cdot \frac{544.92}{s(s+33)} = \frac{544.92}{33} \approx 16,5$
- $e(\infty) = \frac{0.4 V}{16,5} = 24,2 \text{mV}$

Med Lag regulatoren

- $Kv = \lim_{s \rightarrow 0} (s \cdot G_c(s) \cdot G(s)) = s \cdot \frac{s+3}{s+0.6} \cdot \frac{544.92}{s(s+33)} = \frac{(s+3) \cdot 544.92 \cdot s}{(s+0.6) \cdot s(s+33)} = \frac{3 \cdot 544.92}{0.6 \cdot 33} \approx 82,5$
- $e(\infty) = \frac{0.4 V}{82,5} = 4,8 \text{mV}$



Figur 5 - Systemets rampespons med og uden lag regulator.

Lag-regulatoren føres fra S-domænet til Z-domænet via bilinær transformation.

```
Gc = zpk((s+3)/(s+0.6));
Gz = c2d(Gc, T_min, 'tustin');
zpk(Gz)
```

$$G_c(z) = \frac{1,012(z - 0,9704)}{(z - 0,994)}$$

Den z-transformerede overføringsfunktion af processen bestemmes som: $G(z) = Z\{G_h(s)G(s)\}$.

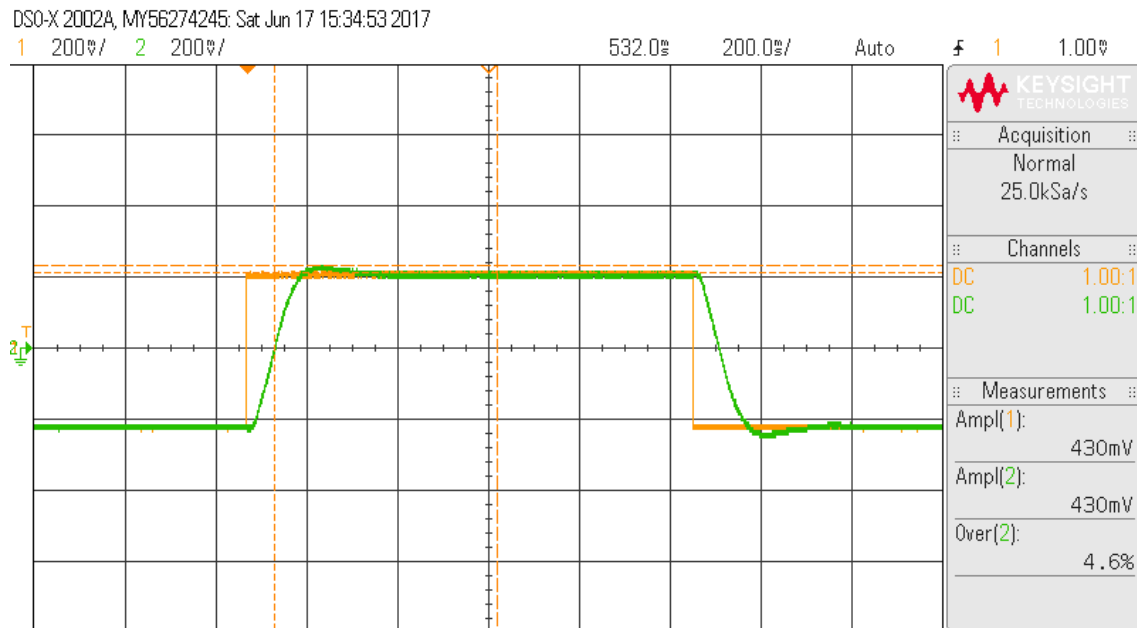
```
Gs = zpk(K_PA*Kp*10*14.34/(s*(s+33)));
Gc = zpk((s+3)/(s+0.6));
Gz = c2d(Gs*Gd*Gc, T_min, 'zoh');
zpk(Gz)
```

$$G(z) = \frac{0,021052z^2(z - 0,9704)(z - 1,22)z + (0,00504)}{z^3(z - 1)(z - 0,994)(z - 7189)}$$

Øvelsen

Vigtigt! Afbryd strømmen til motorstanden når PSoC'en programmeres!

- Kobbel systemet op som en analog positionsservo (vist i systemoversigten, blot uden PSoC'en). Kontroller systemets funktion med en et firkant signal, ± 200 mV og 0,5 Hz, som reference. Oversving < 5%



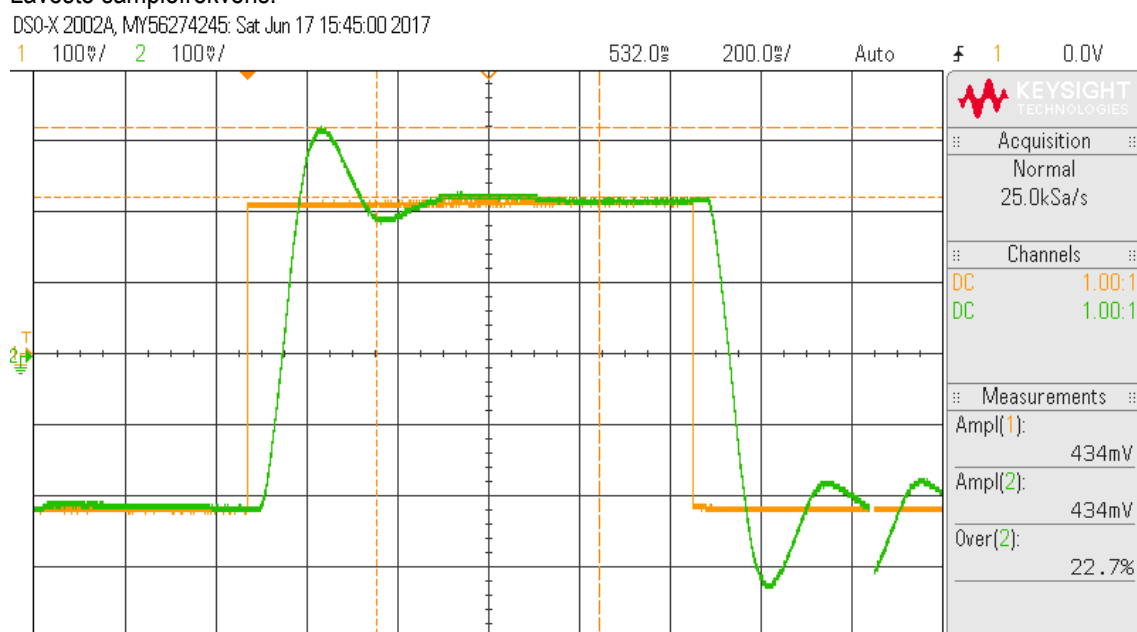
$$K_p = 14$$

$$K_{pa} = 3,8$$

- Undersøg nu hvilken indflydelse samplingfrekvensen (højeste og laveste) har på positionsservosens egenskaber, ved at indsætte PSoC-modulet umiddelbart foran Power Amplifier, K_{PA} . Benyt samme firkantsignal som i a).

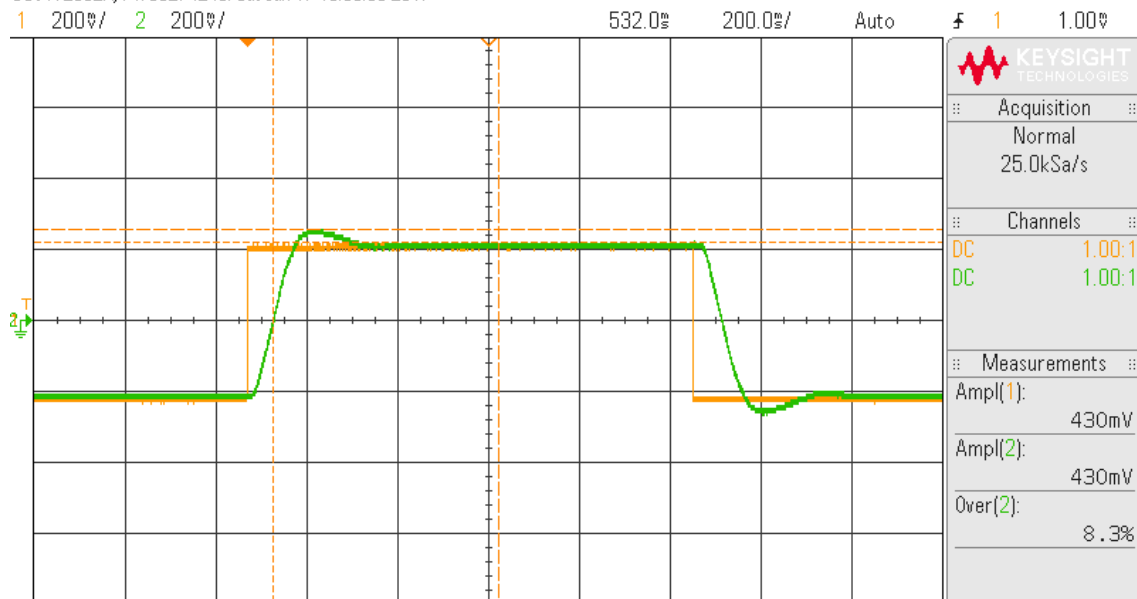
I denne situation skal forstærkningen gennem PSoC-modulet blot være 1.

Laveste samplefrekvens:



Højeste samplefrekvens:

DSO-X 2002A, MY56274245: Sat Jun 17 15:36:08 2017

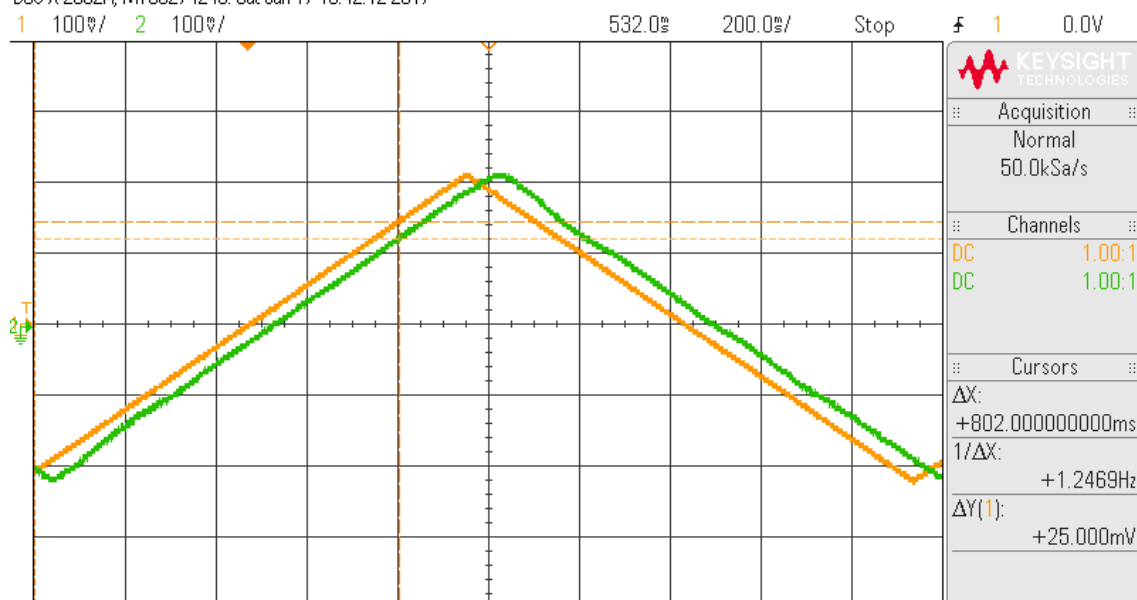


Her ses det tydeligt at udgangssignalet er forbedret med hensyn til oversving, når samplefrekvensen hæves.

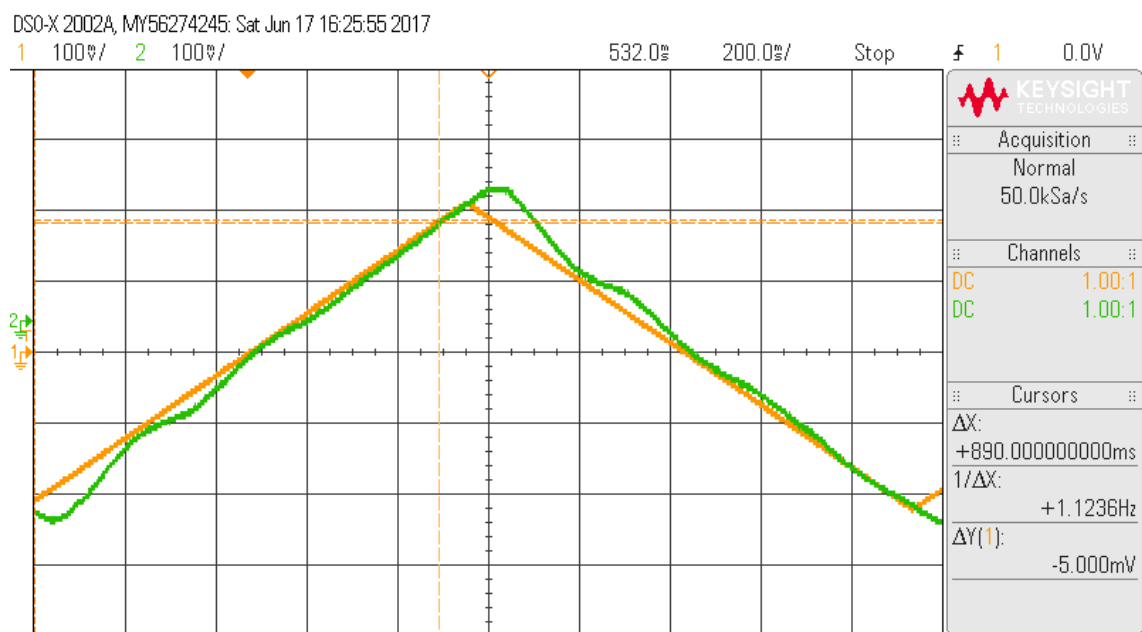
- c) Afprøv den digitale Lag-regulatorer fra forberedelsen. Sammenlign med Matlab simuleringer, og kommenter resultaterne (statiske og dynamiske egenskaber). Som rampeinput anvendes funktionsgeneratorens trekantsignal med en amplitude på ± 200 mV og 0,5 Hz.

Højeste samplefrekvens

DSO-X 2002A, MY56274245: Sat Jun 17 15:42:12 2017



Figur 6 - Ingen Lag regulator.



Figur 7 - Med Lag regulator.

Her ses det at lag-regulatoren mindsker laggen, men tilføjer et overshoot ligesom i simuleringen. Den statiske fejl uden regulator, som vist på Figur 7, kan tilnærmelsesvis aflæses til ca. 25 mV.

Den statiske fejl med lag-regulator, som vist på Figur 8, kan tilnærmelsesvis aflæses til ca. 5mV.

De stationære egenskaber er altså væsentligt forbedret med lag-regulatoren.