

Undervisningsrobot- reguleringsanalyse

Forfatter: Nilas Støhrmann s103313

Vejleder: Jens Christian Andersen

Emne : Regulering af undervisningsrobot

Sted : DTU Automation and Control

Dato : 20-12-2014

Indhold

1. Indledning

2. Opbygning og komponenter

3. Kompiler vejledning

3.1 RegbotDevelopment mappen

3.2 Opsætning af Arm Kompiler i Windows

4. Transient analyse

5. Regbot Motor DC Model

6. Regulator Design

6.1 PI Regulator

6.2 Tustin Approximation

6.3 Direct realization

7. Resultater

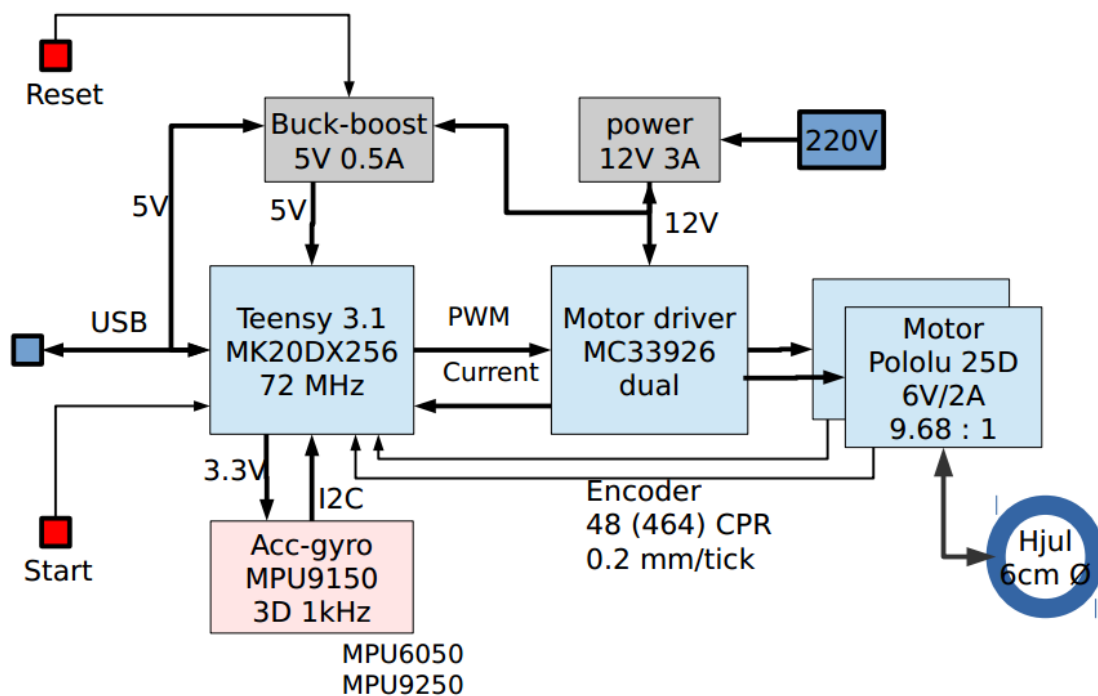
8. Konklusion

9. Referencer

1. Indledning og formål

En undervisningsrobot (Regbot) er udvikling af Jens Christian Andersen DTU Automation and Control og denne skal bruges i forbindelse med Reguleringsteknik 1. 31300 kursus. Formålet med rapporten er at de studerende skal have mulighed for at afprøve kontinuere designede hastighed og positions regulatorer på et digitalt system i en øvelse i slutningen af kurset. Med udgangspunkt i overstående vil der i denne rapport undersøges og testes for foreledes det er muligt at designe regulatorer til Regbot ud fra målinger og reguleringsmodeller. Da størstedelen af de studerende kører windows, vil det være muligt at udfører kompilering af Regbot i windows gennem efter at have læst den gennemarbejdet vejledning i denne rapport.

2. Opbygning og komponenter



3. Kompiler vejledning

3.1 RegbotDevelopment mappen

I RegbotDevelopment med undermappen Regbot findes build, src, teensy3 samt tools mappen. I "Src" findes Main programmet og andre brugerdefineret filer (.h og .c). I "teensy3" findes alle biblioteker til teensy 3.1 (.h og .c). I "tools" findes arm og arv kompilere (disse kompilator mapper benyttes ikke her). Programmet teensy.exe findes også her og denne bruges til uploading kode (hexfil) til teensy.

3.2 Opsætning af Arm Kompiler i Windows

I RegbotDevelopment findes en "make" fil som er tilpasset mappernes strukturen beskrevet i 3.1. Make filen bruges af arm kompilatoren til at bygge en binær/hex fil (Selve programmet) som så kan uploades til teensy med teensy.exe. Installation af arm kompilatoren foregår i følgende 4 trin. (nedenstående vejledning er et udpluk se **ref 1**)

1. Download mappen RegBotDevelopment til C:\.
2. Download og installer arm-gcc-kompilator fra nedenstående link <https://launchpad.net/gcc-arm-embedded> ude til højre.
!!! HUSK ved installation sæt flueben ved:
"Add path to environment variable". Således kan kompilatoren køres globalt.
Tjek at kompilatoren er installeret, gå til cmd+enter indtast:
arm-none-eabi-gcc -v og tryk enter.

```
Thread model: single
gcc version 4.8.4 20140725 (release) [ARM/embedded-4_8-branch revision 213147] (
GNU Tools for ARM Embedded Processors)
```

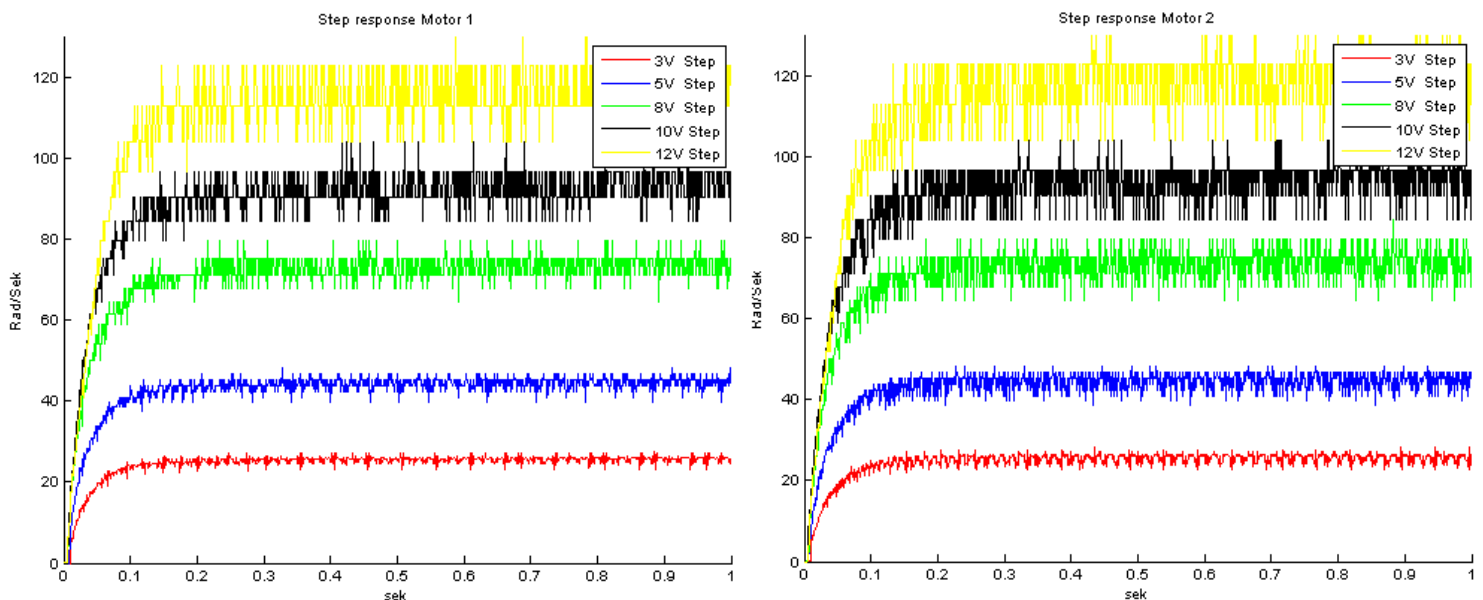
3. Kopier de 3 filer i: RegbotDevelopment->Files
Paste dem ind i: C:\Program Files (x86)\GNU Tools ARM Embedded\4.8 2014q3\bin. Således kan make køres globalt med kompilatoren.
Tjek at Make kører, gå til cmd+enter indtast:
make -v og tryk enter

```
GNU Make 3.81
Copyright (C) 2006 Free Software Foundation, Inc.
This is free software; see the source for copying conditions.
There is NO warranty; not even for MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A
PARTICULAR PURPOSE.
This program built for i386-pc-mingw32
```

4. For at kompilere gå til cmd+enter, naviger til
C:\RegBotDevelopment\Workspace\regbot
(hvor projektet make fil ligger) og indtast: make
Regbot projektet skulle nu kompilerer og genererer en regbot.hex
samme sted som make filen som oploade med teensy.exe

4. Transient analyse

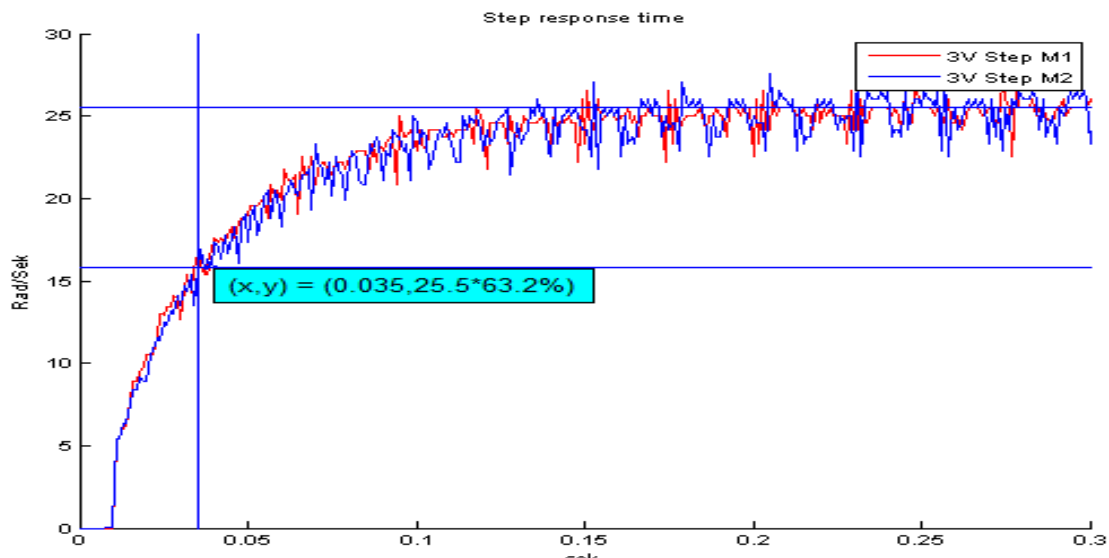
I dette afsnit undersøges step response på motorerne ved forskellige spændingsreferencer med en sampling frekvens på 1kHz.



Figur 1. M1 og M2 Step response 3,5,8,10,12 volt, 1 sek

På figure 1 er Motor 1 (venstre) og Motor 2(højre). step med hhv, 3,5,8,10,12 referencer. Det ses at begge motorers stigtid er rimelig ens og kunne tilpasses et 1. ordens system. Det ses også at tidskonstanten for de individuelle referencer er rimelig ens, der er dog en vis ulinæritet med ved højere referencer. Der er en del målestøj især ved de højere referencer, hvilket skyldes en for lav sample frekvens i forhold til motor enkoderes feedback pulser. Støjen kunne minimeres ved at midle disse pulser i mellem sample tiden.

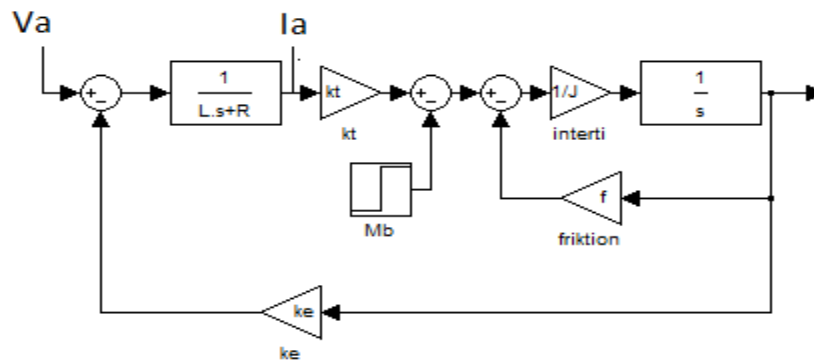
På baggrund af figur 1. vælges den videregående analyse med 3V reference. I figur 2. er tidskonstanten for motorernes 1.orden system fundet til 0.035 sekunder.



Figur 2. M1 og M2 Tidskonstant

5. Regbot Motor DC Model

Regbot motorerne kan lineariseres med nedenstående DC-model i figur 3. Fra afsnit 4 antogs et 1.ordenssystem og derfor kan induktansen sættes til nul.



Figur 3. Lineariseret DC-Model af regbot motor

åben sløjfe overføringsfunktionen for modellen bestemmes til

$$T(s) = \frac{\frac{kt}{R \cdot J}}{s + \frac{1}{J} \left(f + \frac{kt \cdot ke}{R} \right)} = \frac{\frac{kt}{R \cdot f + kt \cdot ke}}{\frac{J \cdot R}{R \cdot f + ke \cdot kt} \cdot s + 1} \quad (1)$$

Ved steadystate analyse antages omdrejningshastigheden ω_0 at være konstant og ud fra modellen fås derfor

$$Va - Ia \cdot R = \omega_0 \cdot ke \Rightarrow kt = ke = \frac{Va - Ia \cdot R}{\omega_0} \quad (2)$$

Det antages tilmed, at i steadystate vil friktionen f være lige så stort som det moment motoren leverer. Udfra denne antagelse fås

$$Ia \cdot kt = f \cdot \omega_0 \Rightarrow f = \frac{Ia \cdot kt}{\omega_0} \quad (3)$$

Fra (1) kan polen i modellen direkte aflæses, derpå kan inertimomentet bestemmes ved

$$\frac{1}{\tau} = \frac{1}{J} \left(f + \frac{kt \cdot ke}{R} \right) \Rightarrow J = \tau \left(f + \frac{kt \cdot ke}{R} \right) \quad (4)$$

Fra (1) kan den statiske forstærkning aflæses og fås til

$$K_s = \frac{kt}{R \cdot f + kt \cdot k_e} \quad (5)$$

6. Regulator Design

6.1 P og PI Regulator

Der bestemmes først en p-regulator ud fra en steady state error ess . Ved et step input og idet at DC-modellen ingen frie integratorer fås k_p til

$$ess = \frac{V_a}{1 + K_0}, \quad K_0 = k_p \cdot K_s \Rightarrow k_p = \left(\frac{V_a}{ess} - 1 \right) \cdot K_s \quad (6)$$

Regbot kan dog ikke have nogen steadystate hastighedsfejl idet dette kunne medfører en drejevinkel. Derfor forsøges designet en i PI-regulator. I en frekvensrespons analyse på åben sløjfe bestemmes k_p ved en fasemargin på 60 grader og derpå aflæses systemets krydsfrekvens. PI regulatoren designes derpå ved

$$T(s)_{PI} = k_p \cdot \frac{\tau_i \cdot s + 1}{\tau_i \cdot s}, \quad \omega_k = \frac{1}{n} \cdot \omega_c, \quad \tau_i = \frac{1}{\omega_k} \quad (7)$$

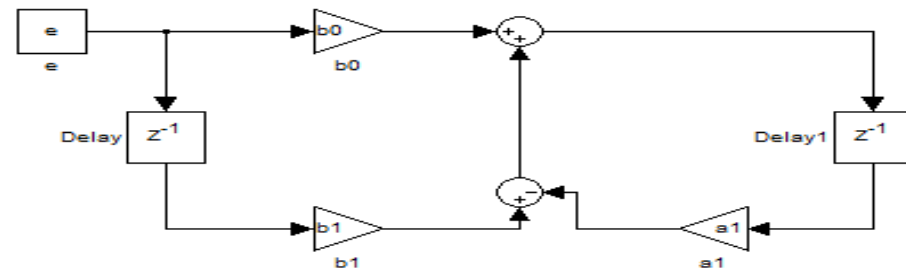
6.2 Tustin Approximation

PI-Regulatoren skal omsættes til diskret tid idet, at regbot er et digitalt system og dette gøres via Tustin Approximation. Den diskrete PI-regulator ved sampletid T_s fås ved

$$s = \frac{2}{T_s} \left(\frac{z-1}{z+1} \right), \quad T(z)_{PI} = \frac{b_0 + b_1 \cdot z^{-1}}{1 + a_1 \cdot z^{-1}} = \frac{k_p \cdot \left(1 + \frac{T_s}{2\tau_i} \right) + k_p \left(\frac{T_s}{2\tau_i} - 1 \right) \cdot z^{-1}}{1 + z^{-1}} \quad (8)$$

6.3 Direct realization

Implementering af PI-regulatoren kængøres ved metoden Direct Realization, ses på figur 4.



Figur 4. Direct realisation implementering

Direct Realization er implementeres i C ved hjælp af nedenstående Pseudo kode,

```

initialization
constants a1, b0, b1
dummy = 0
e = 0
u = 0
e = ref - getinput()
u = b0 * e + dummy
output(u)
dummy = b1 * e - a1 * u

```

7. Resultater

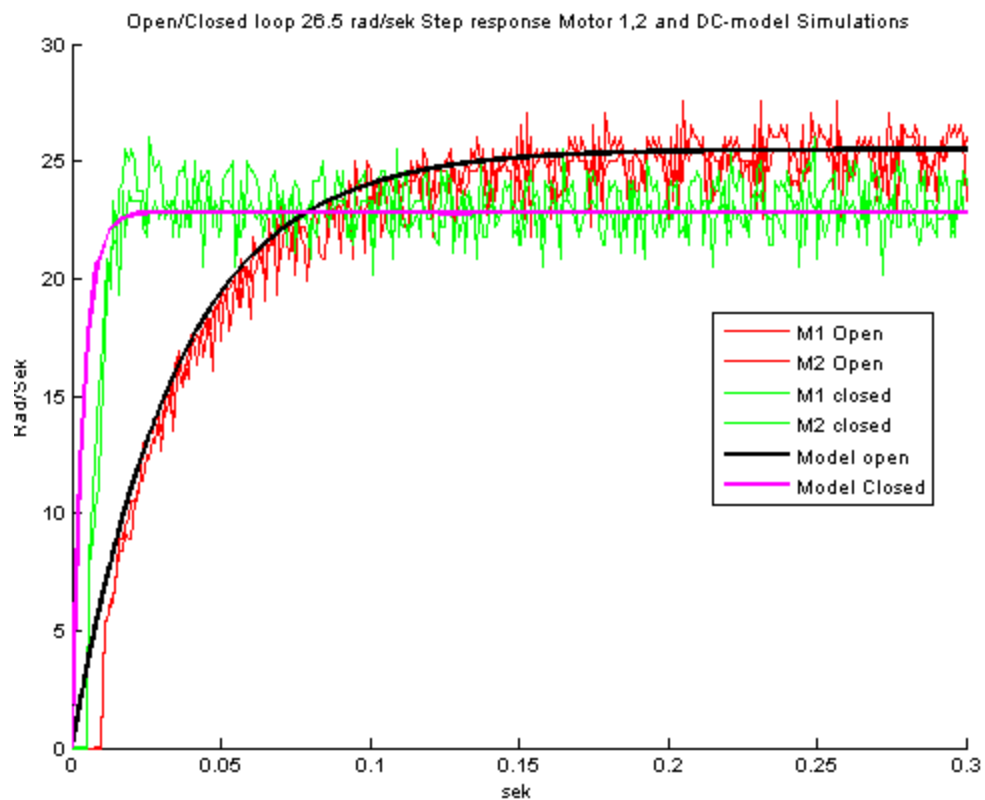
Tabel 1. Model Paramatre

ω_0 rad/s	Va volt	Ia Amp	R Ohm	J kgm ²	kt Nm/A	ke V/rad
25,5	3.007	0.180	3	$1.324 \cdot 10^{-4}$	0.0965	0.0965
f	Ks	τ	$1/\tau$	Ks (dB)		
$6.810 \cdot 10^{-4}$	8.6454	0.035	28.5714	18.73		

Overføringsfunktionen for åben sløjfe DC-model bliver

$$T(s) = \frac{242.9}{s + 28.57}$$

Figur. 5 viser et step på 25.5 rad/sek på motorerne og DC model i åben og lukket sløjfe. Det ses, at måledata følger DC-modeller passende (set bort fra støj), tilmed ses det også at målestøj bliver forstærkning i lukket sløjfe, som følge af større båndbredde.

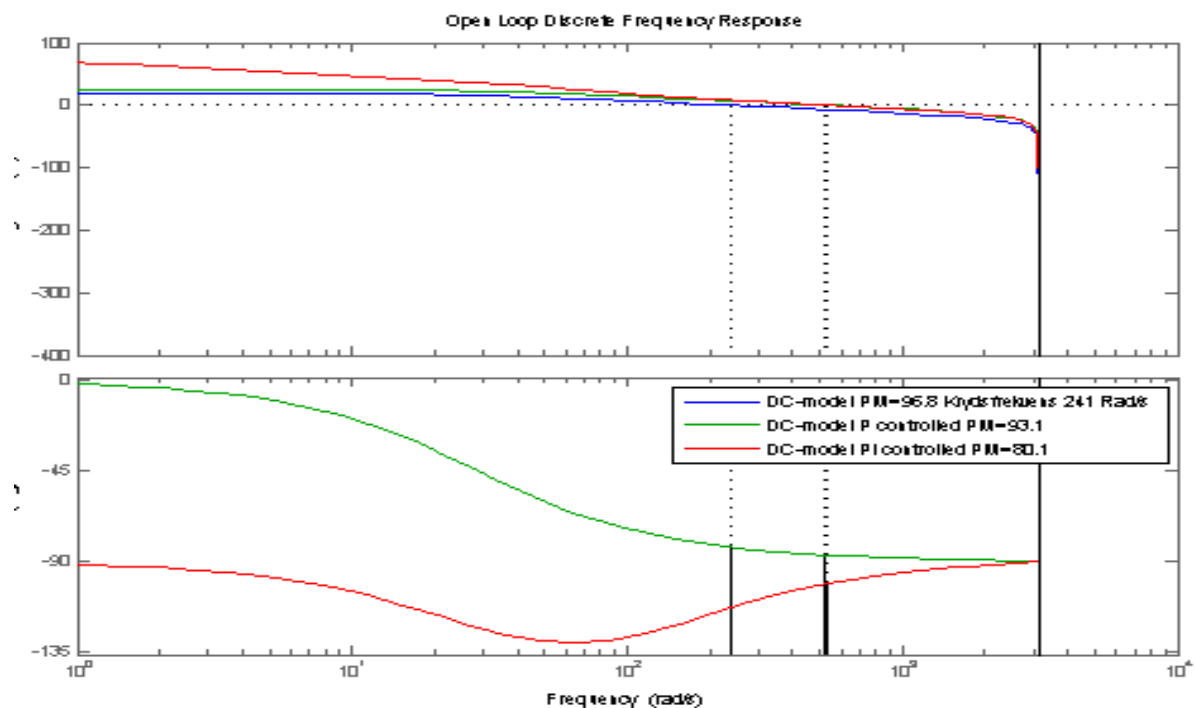


Figur 4. 25.5 rad/sek step response motor m1,m2 og DC-model

tabel 2. regulator værdier for PI og P design kontinuert/diskret

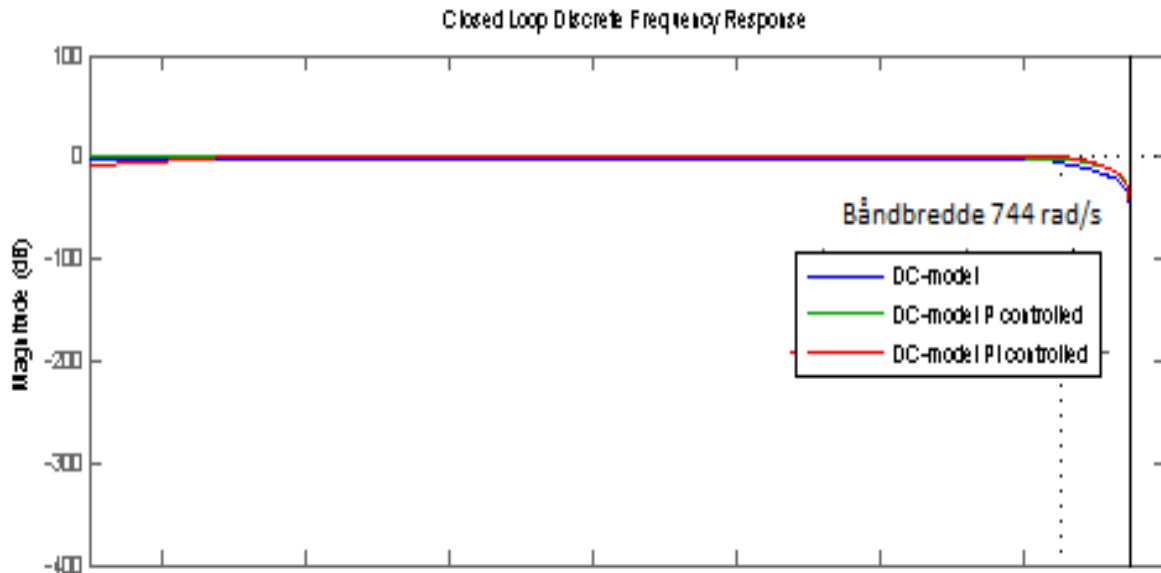
ω_c rad/s	n	ω_k rad/s	τ_i	kp	ess	b0	b1	a1
541	4	3.007	0.180	2.1977	0.05*25.5	2.34 1	-2.0 55	-1

Figur 5. viser åben sløjfe frekvens response af DC-model med og uden P og PI regulatorer. Det ses i alle tilfælde at der en fasemargin på 80-100 grader, og derfor stabile.



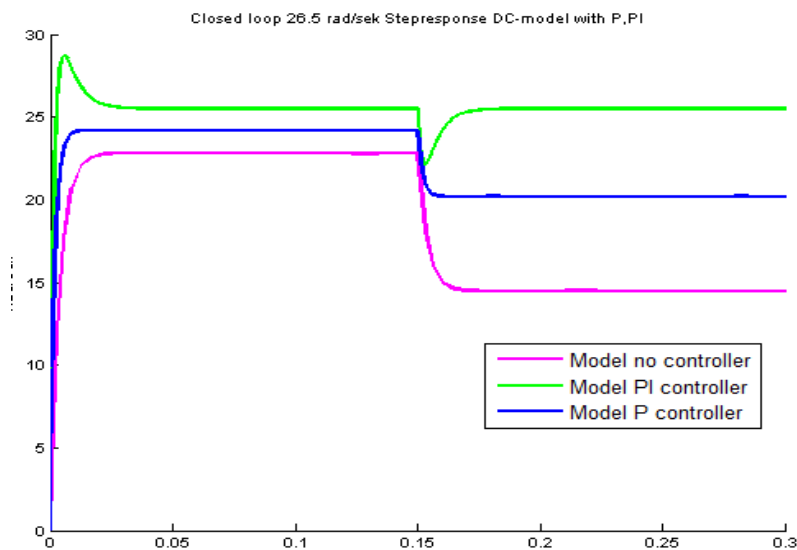
Figur 5. åben sløjfe bodeplot af DC-model, p og pi samt uden

Figur 6. viser et lukket sløjfe frekvens response af DC-model med og uden P og PI regulatorer. Det er en båndbredde på ca. 744 rad/sek.



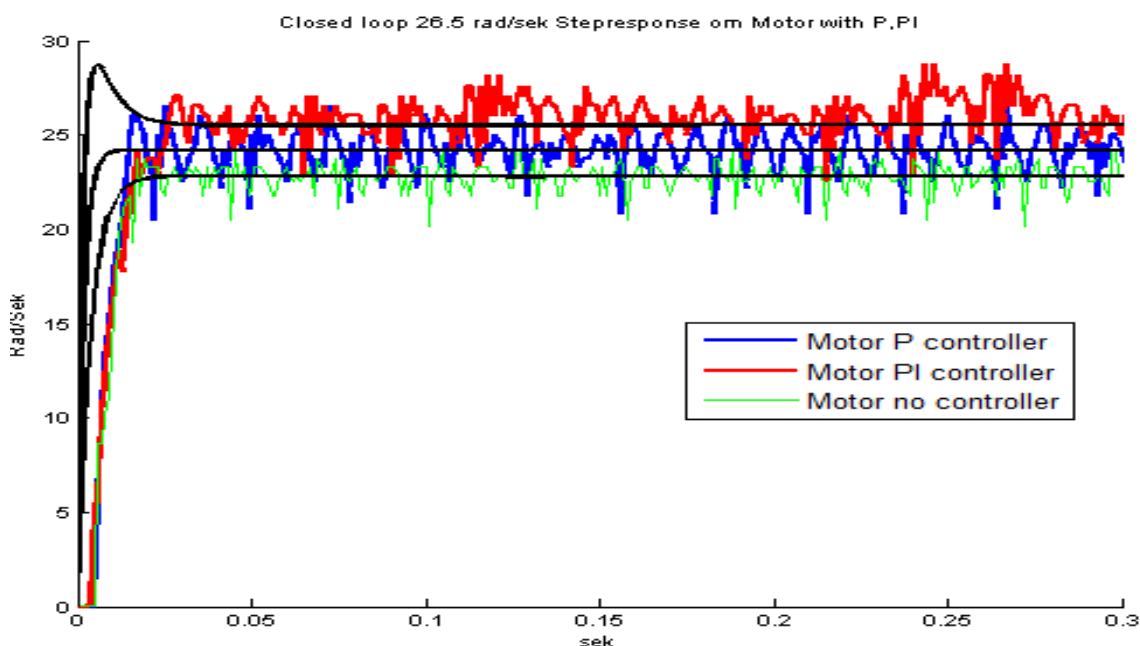
Figur 6. lukket sløjfe bode af DC-model, p og pi samt uden

På figur 7. ses et 26.5 rad/sek step response på lukket sløjfe DC-model med og uden regulatorer og et en forstyrrelse på 0.3, ved 0.15 sek. PI giver den ønskede stationære fejl 0, tilmed ses et lille oversving, der kunne evt. videre designs PID til dæmpning.



Figur 7. step DC-model lukket sløjfe m. regulatorer m. forstyrrelse tid 0.15 sek

På figur 8 ses et 26.5 rad/sek step response på motorernes lukket sløjfe med og uden regulatorer.



Figur 8. Step på motorer lukket sløjfe m. regulatorer

Set bort fra målestøj følges måledata og DC-model passende. Gennemsnitlig ligger måledata godt placeret med dens tilhørende model. Det er en tendens til større udsving med P og PI regulatorer. For at få pænere resultat og en bedre regulatorer er det nødvendig at begrænse målestøjen.

8. Konklusion

Ud fra transient analysen (figur 1 og 2) kunne motoren tilnærmes en 1. ordens model, med en tidskonstant på 0.035 sek, og induktansens påvirkning var ubetydelig. Det sås også at der var en del målestøj (især ved høje hastigheder). Denne kunne evt. minimeres ved en højere sample frekvens eller midling af puls målinger fra enkoderen. Passende parametre blev bestemt på baggrund af DC-model. Det sås i Figur 4. at DC-model og måledata passede godt både i åben/lukket sløjfe transient response. Tilmed sås det at målestøjen blev forstærket i lukket sløjfe som følge større båndbredde. Frekvensresponse af DC-modellen vidste stabilitet og båndbredde på 744 rad/sek. Ved design af PI regulator blev direkte anvendelige transformationsformler udledt således at det var let at gå fra kontinuere til diskret design. Det sås i Figur 8 at DC-model og måledata med regulatorer i lukket sløjfe fulgtes ad, dog med lidt større udsving, hvilket kunne skyldes forstærket målestøj.

9. Referencer

ref1: <http://hertaville.com/2012/05/28/gcc-arm-toolchain-stm32f0discovery/>