MALMÖ HÖGSKOLA

Inbyggda system och signaler

Styr- och reglerteknik

Labbinlämning 1504f

Utlämning: 20 febr 2017

Deadline inlämning: 14 mars 2017, kl.16:00

Namn: Leonard Holgersson

Namn: Hadi Deknache

Modellering, identifiering och dimensionering av tidsdiskreta regulatorer

Syftet med denna laborationsinlämningsuppgift är att matematiskt modellera vattentankmodellen för att kunna tillämpa matematiska metoder för att beskriva och dimensionera reglersystemet.

Resultaten från uppgiftens teoretiska del kan sedan delvis jämföras med resultaten från de praktiska experiment som genomfördes i förra inlämningsuppgiften.

Hela inlämningsuppgiften följer ingenjörens professionella arbetssätt där teorin tillämpas på ett konkret exempel (=reglering av vattentankmodellen) genom att först ta reda på alla modellparametrar och dessa enheter. Modellen beskrivs sedan som ekvationer med deras parametrar. Det är inte innan modellerna är på plats att man börjar identifiera (=bestämma värdet av) parametrarna. Egentligen ska man efter identifikationen också verifiera modellerna genom att jämföra deras simulering med praktiska experiment innan man får använda dem. Vi använder modellerna utan formell verifikation men jämför dem med tidigare genomförda experiment där det går. Slutligen använder vi oss av modellerna för att dimensionera en regulator med polplacering som vi sedan reglerar vattentankmodellen med. Efterföljande analysen av experimentens resultat kan anses som en enkel validering av modellen.

I dokumentet ”Överblick över reglerteknikdelen” visas vilka vattentankar (övre eller undre) som ska användas till vilka uppgifter. Där finns också referenser till kursboken till varje uppgift. Det är upp till varje grupp hur de planerar genomförandet av uppgifterna. Antal vattentankmodeller är begränsat och man behöver boka tider för att genomföra de praktiska experimenten. Det kräver en viss förberedning för att hinna färdig i tid. Uppgifterna delas upp i olika delar ”A-D” : teoretiska förberedande inkl. Matlabprogrammering (A), praktiska och experimentella (B), analyserande (C), och självreflekterande (D) delar.

Innehållsförteckning och översikt

Inlämningen av detta fullständigt ifyllda dokument samt andra filer som ni ska generera för att dokumentera vissa delar av er lösning ska ske på its learning. **Ladda upp varje fil för sig, dvs inte komprimerade.** För videodokumentering kan länkar anges t.ex. till youtube eller andra lämpliga videotjänster.

Laborationen genomförs som vanligt i par dvs. ni jobbar två och två eller ensam. Vid inlämningen på Its learning anges vem som jobbat ihop. Forskningen visar att den mest effektiva inlärningen sker när man förklarar något till någon annan! Tillämpa det gärna på varandra i gruppen och i hela klassen för att få hjälp i att förstå vad som ska göras och varför. Själva laborationen blir dock meningslös om ni fuskar och bara kopierar varandras resultat eller formuleringar utan att själv har förstått vad ni skriver! *Alla svar och alla programkod och mätresultat ska vara gruppens egen!!* Labbinlämningsuppgifterna dokumenterar er inlärning i ämnet och om de genomförs seriöst har man uppnått lärandemålen och kommer att klara sluttentamen!

Dokument som ni behöver för att kunna lösa uppgifterna är kursboken ”Modern Reglerteknik” av Bertil Thomas, Matlabguiden, Matlabs ”help” och dokumentation samt material som finns upplagda på its learning.

Krav för godkänd

- Fullständigt ifyllt dokument (inkl namn på titelsida) med korrekta svar till alla frågor, uppladdad till its learning som word eller pdf-fil, (okomprimerad).
- Ekvationer och formler ska vara skrivna med Words formlereditor!
- Matlabfunktionen”vm_polh2.m” med polplaceringsregulatorn (okomprimerade) uppladdad till its learning:
-

A.1 Matematisk/fysikalisk modellering av vattentankmodellen

Man kan visa att regleringen av en process blir bättre ju mer information man har om själva processen. Modern reglerteknik handlar om regleralgoritmer som baserar sig på matematiska processmodeller som används i designen av regelsystem.

Det finns i stort sett två olika metoder att modellera en process: - baserad på experiment, också ibland betecknad som ”black-box” metoder, eller baserad på fysikalisk-matematisknaturvetenskapliga modelleringar eller ”white-box” metoder.
Black-box metoden användes i förra labbinlämningen där den tidsdiskreta överföringsfunktionen identifierades med hjälp av minsta kvadratmetoden.

En matematisk-naturvetenskaplig ansats till modelleringen av vattentankmodellen baserar på den underliggande fysiken, den mekaniska konstruktionen och på naturlagen. Som illustrerad i figur A.1.a så består vattentankmodellen av två vattenbehållare, placerade över varandra så att första behållarens utflöde blir andra behållarens inflöde. Flödet in i den översta behållaren regleras med en styrbar vattenpump.

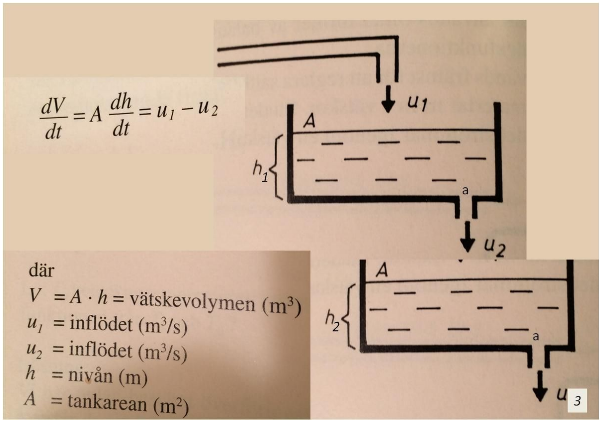
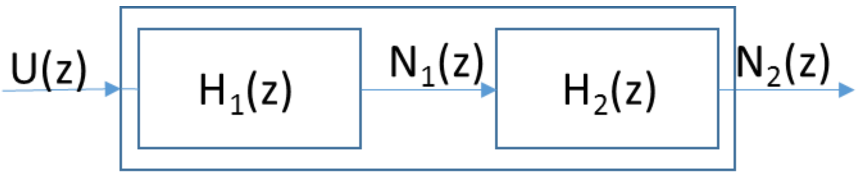


Fig A.1.a

Matematiska modellen består enligt den mekaniska konstruktionen av två delar som var för sig beskriver det som händer i respektive vattenbehållaren. Med två behållare blir det också två tillstandsvariabler – volymen V1, och V2 (eller höjden h1, och h2) i respektive behållaren.

Med hjälp av Z-transformationen och seriekopplingen av block i blockscheman kan man först beskriva varje delsystem för sig och sedan foga ihop delarna, enligt figur A.1.b.



$$H(z) = H_1(z) \cdot H_2(z)$$

Fig. A.1.b, blockdiagram, (H1(z)=övre vattentank, H2(z) = nedre vattentank)

I kursboken finns detta exempel (kap. 7.5) beskriven som differentialekvation omkring balansekvationen: en ändring i tankens volym motsvarar skillnaden mellan in- och utflödet.

Som differensekvation (istället för differentialekvation) skrivs samma balansekvation matematiskt på följande sätt:

$V(k)-V(k-1) = (u_{in}(k-1)-u_{out}(k-1))\cdot dT$

Med: $V(k)$ = volymen i tanken till tidspunkt $t=(k)\cdot dT$

$V(k-1)$ = volymen i tanken till tidspunkt $t=(k-1)\cdot dT$

dT=samplingstiden

k: samplingen, (k=0..n)

$u_{in}(k-1)$: inflödet i tanken vid tiden $t=(k-1) \cdot dT$

$u_{out}(k-1)$: utflödet ur tanken vid tiden $t=(k-1) \cdot dT$

Inför en modellering är det viktigt att man har koll på alla fysikaliska enheter och samspelet mellan representationen i datorn (utan fysikaliska enheter) och de fysikaliska storheterna.
Fig A.1.c) visar blockscheman för det slutna systemet för en tank. Vilken tank spelar för denna betraktelse ingen roll då vi antar att de är identiska.

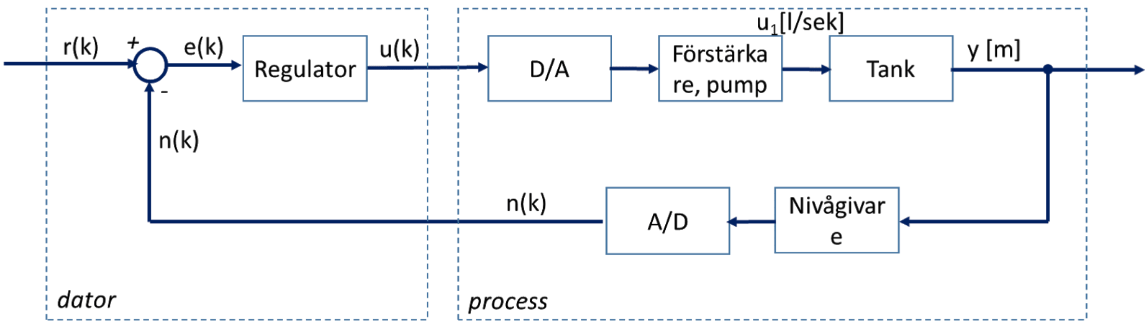


Fig. A.1.c): Blockschema för det slutna systemet för en vattentank

Det är inte självklart vart man ska lägga gränsen mellan process och datorn. Man brukar dock välja gränsen så att processens in- och utsignaler får samma enhet. Framöver utgår vi från en sammanfattning av signalomvandlingarna enligt fig A.1.d). Syftet är att räkna med samma signaler som vi också får in och ut från datorn.

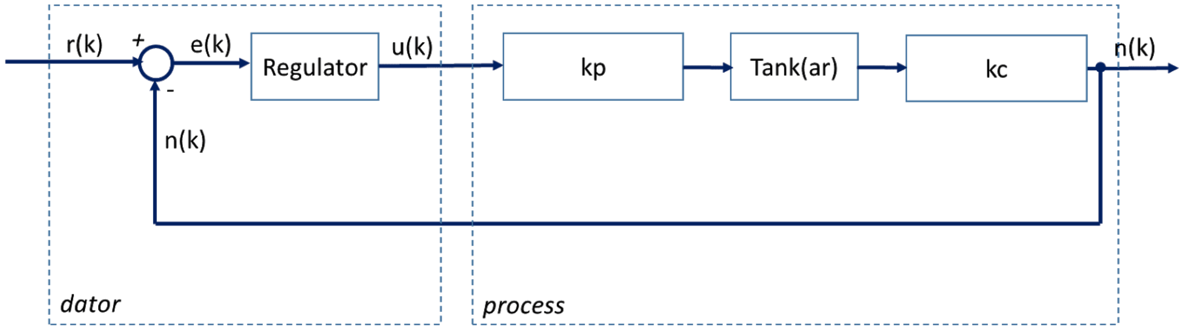


Fig. A.1.c): Sammanfattning av olika omvandlingsenheter till förstärkningsfaktorerna kp och kc.

Följande är en sammanställning av modellparametrarna med respektive enheter som ni ska använda framöver:

Datoralgoritm:
dT= samplingstid [sek]
u(k)= styrsignal till pumpen [0..255],
n(k)= mätvärde efter A/D-omvandlaren [0..1023]

Vattentank:
A är arean i vattentanken [m^2]
a = arean av hålen för utflödet [m^2]
u_1, u_2, u_3 = in- och utflöden till, ut och mellan tankarna [l/sek] eller [m^3/sek]
g = 9, 81 m2/s, gravitationskonstanten
y(t): vattennivån (h1 eller h2) i vattentanken [m]

Koppling mellan dator och vattentank
k_p= kopplingskoefficienten mellan styrvärdet u [0..255] och flödet u_1 [l/sek]
kc= kopplingskoefficienten mellan vattennivån y(t) [m] och mätningen n(k) av vattennivån

$u_1(t)=kp \cdot u(k)$
$n(k) = kc \cdot y(k)$

Med detta kan man beskriva de olika delarna från balansekvationerna till:
$V(k) = A{\cdot}n(k)/kc$,
$u_{in}(k) = k_p \cdot u(k)$
$y(k) =$
$n_1(k)/ k_c$

Använd words formeleditor i era svar framöver för att ange matematiska ekvationer. Det är en bra träning inför skrivandet av tekniska rapporter och examensarbeten och höjer läsbarheten inte minst för er själva!

A.2 Differensekvationen av övre vattentanken

Härleda och beskriv de matematiska sammanhangen mellan nivåskillnaden i första vattentanken mellan två samplingstider och skillnaden mellan inflödet och utflödet. Glöm inte att ange inflödet som funktion av pumpstyrningen u. Använd mätningen n(k) för höjden i vattentanken som behöver divideras med kc för att få den riktiga höjden h1.

A.2.1 Anger er differensekvation här:

Balansekvationen av volymen i en tank ser ut som följande:
$V(k) - V(k-1) \ = \ (u_{in}(k-1) - u_{out}(k-1)) \cdot dT$

Sammanhangen ser ut som följande:

Volymen fås av Arean gånger höjden, och höjden $y(k)$ fås av $\frac{n_1(k)}{kc}$:
$V(k) \ = \ A \cdot y(k) = A \cdot \frac{n_1(k)}{kc}$

Inflödet från pumpen till tanken fås av:
$u_{in}(k) = k_p \cdot u(k)$

$$\frac{A(n(k) - n_1(k-1))}{kc} \ = \ (u_{in}(k-1) - u_{out}(k-1)) \cdot dT$$

$$\frac{A(n(k) - n_1(k-1))}{kc} \ = \ (k_p \cdot u(k-1) - u_{out}(k-1)) \cdot dT$$

A.3 Bernoullis lag från strömningsläran

Storleken på utflödet beror på hur hög vattennivån är i vattentanken: ju högre nivån desto större blir trycket i botten på tanken och desto större blir utflödet. Enligt Bernoullis lag (strömningsläran) gäller:

$$u_{out}(k-1) = a\sqrt{2gn_1(k-1)/kc}$$

Med:
a = arean av hålen för utflödet [m^2]
g = 9, 81 [m/s^2], gravitationskonstanten

A.3.1 Anger er differensekvation med Bernoullis ekvation för utflödet:

$h = \frac{n(k)}{k_c}$

$$\frac{Volymsändring}{Tidsenhet} = Inflöde - Utflöde \Rightarrow v = a\sqrt{2gh} \Rightarrow \ \ u_{out}(k-1) = a \cdot \sqrt{2 \cdot 9.82 \frac{n(k-1)}{kc}}$$

A.3 Differensekvationen av nedre vattentanken

Vi förenklar och antar att arean ”A” och ”a” är identiska vid båda vattentankar.

A.3.1 Ange differensekvationen för nedre vattentanken, motsvarande senaste formel för övre vattentank.

För undre tanken gäller följande samma som för övretanken:

Balansekvationen av volymen i en tank ser ut som följande:
$V(k) - V(k-1) \; = \; (u_{in}(k-1) - u_{out}(k-1)) \cdot dT$

Volymen fås av Arean gånger höjden, och höjden $y(k)$ fås av $\frac{n_2(k)}{kc}$:
$V(k) \; = \; A \cdot y(k) = A \cdot \frac{n_2(k)}{kc}$

$u_{in}(k) = k_p \cdot u(k)$

$\frac{A(n_2(k) - n_2(k-1))}{kc} \; = \; (u_{in}(k-1) - u_{out}(k-1)) \cdot dT$

$\frac{A(n_2(k) - n_2(k-1))}{kc} \; = \; (k_p \cdot u(k-1) - u_{out}(k-1)) \cdot dT$

A.4 Linearisering av olineära system

Differensekvationerna för de både vattentankarna är inte lineära och behöver lineariseras.

A.4.1 Vilka delar i differensekvationerna är olineära? Förklara hur man ser det.

För ett linjärt system gäller det att värdet blir dubbelt än det förgående, dvs i förgående punkt A2/A3 så fick vi fram ett olinjärt samband av systemet, där vi har ett roten ur tecken i ekvationen vilket ger ett olinjärtsamband i ekvationen då detta resulterar i ett olinjärt svar.

$u_{out}(k-1) = a \cdot \sqrt{2 \cdot 9.82 \frac{n(k-1)}{kc}}$

$\frac{A(n(k) - n_1(k-1))}{kc} \; = \; (k_p \cdot u(k-1) - u_{out}(k-1)) \cdot dT$
u out i funktionen ger:
$\frac{A(n(k) - n_1(k-1))}{kc} \; = \; (k_p \cdot u(k-1) - a \cdot \sqrt{2 \cdot 9.82 \frac{n(k-1)}{kc}}) \cdot dT$
Här ser vi att vi har ett roten ur tecken i ekvationen vilket gör systemet olinjärt.

A.4.2 Vilka är de viktigaste villkoren för att man får linearisera kring en given arbetspunkt?

Villkoren för att linjärisera kring en arbetspunkt är att ta en tangent kring arbetspunkten. Genom att ta tangenten(derivatan av funktionen), kan vi på sådana sett få fram en linjär funktion. Det man vill komma fram till är att få "loss" värdet för n(k) etc för att linjäriseringen skall bli lyckad.

För att kunna beskriva vattentankmodellen med lineära systemekvationer måste differensekvationen lineariseras i en arbetspunkt ($n1_0$, $n2_0$).

Ett vanligt sätt att linearisera en funktion i en arbetspunkt är att välja tangenten till funktionen i arbetspunkten. Tangenten av en funktion f(x(t),t) får man som första tidsderivaten f'(x(t),t) i arbetspunkten, se också matematik-repetitionsmaterialet på its learning.
I vårt fall är det funktionen

$$f(y,t) = \sqrt{2gn(t)/kc}$$

som ska lineariseras i arbetspunkt n_{10} respektive n_{20} genom:

- ⇨ $f'(n_{10})\ (n_1 - n_{10}) = f'(n_{10})\ \Delta n_1$ respektive $f'(n_{20})\ (n_2 - n_{20}) = f'(n_{20})\ \Delta n_2$

Tangenten av roten som första tidsderivaten av rotfunktionen är lite krångligare att komma fram till. Det kräver att man kan (eller kommer ihåg hur man ska) göra derivaten av en rot.

$$\frac{df}{dt} = \sqrt{2g}\cdot\frac{d\,(n(t)/kc)^{\frac{1}{2}}}{dt} = \frac{\sqrt{2g}}{2}(n(t)/kc)^{\frac{-1}{2}} = \frac{\sqrt{2g}}{2\sqrt{n(t)/kc}} = \sqrt{\frac{2g\cdot kc}{4n(t)}} = \sqrt{\frac{gk_c}{2n(t)}}$$

Exemplet av det lineariserade utloppet i första vattentanken omkring arbetspunkten $n1_0$ blir då:

$$\Delta u_{out}(k-1) = a\sqrt{\frac{gk_c}{2n_{10}}}\frac{\Delta n_1(k-1)}{k_c} = a\sqrt{\frac{g}{2k_c n_{10}}}\ \Delta n_1(k-1)$$

A.4.3 Linearisera ekvationen för övre vattentanken genom att använda Δn_1 och Δu omkring arbetspunkten n_{10} och n_{20}:

Vi vill linjärisera för kurvan f(n,t), detta kan vi få ut genom att ta värdet för derivatan $f'(k) * (n(k) - n(k-1))$, där $(n(k) - n(k-1))$ är intervallet dvs Δn.

$f(k) = a\sqrt{2g \cdot \frac{n(k)}{k_c}}$ kans skrivas om som $\rightarrow f(k) = a\sqrt{n(k) \cdot \frac{2g}{k_c}}$

derivatan av f(k) ger:

$f'(k) = a \cdot \sqrt{\frac{2g}{k_c}} \cdot n(k)^{\wedge -\frac{1}{2}} = \frac{a}{2} \cdot \sqrt{\frac{2g}{k_c n(k)}} = a \cdot \sqrt{\frac{2g}{4k_c n(k)}} = a \cdot \sqrt{\frac{g}{2k_c n(k)}} \leftarrow$ vår linjäriserade funktion

stoppar vi in nu arbetspunkten omkring n_{10} och n_{20}

$$\frac{A(\Delta n_1(k) - \Delta n_1(k-1))}{k_c} = (k_p \cdot \Delta u(k-1)) - a \cdot \sqrt{\frac{g}{2k_c n_{10}}} \cdot \Delta n_1(k-1)$$

A.4.4 Linearisera ekvationen för nedre vattentanken genom att använda Δn_1 och Δn_2 omkring arbetspunkten n_{10} och n_{20}:

Vi vill linjärisera för kurvan f(n,t), detta kan vi få ut genom att ta värdet för derivatan $f'(k) * (n(k) - n(k-1))$, där $(n(k) - n(k-1))$ är intervallet dvs Δn.

$f(k) = a\sqrt{2g \cdot \frac{n(k)}{k_c}}$ kan skrivas om som $\rightarrow f(k) = a\sqrt{n(k) \cdot \frac{2g}{k_c}}$

derivatan av f(k) ger:

$f'(k) = a \cdot \sqrt{\frac{2g}{k_c}} \cdot n(k)^{\hat{}-\frac{1}{2}} = \frac{a}{2} \cdot \sqrt{\frac{2g}{k_c n(k)}} = a \cdot \sqrt{\frac{2g}{4k_c n(k)}} = a \cdot \sqrt{\frac{g}{2k_c n(k)}} \leftarrow$ vår linjäriserade funktion

stoppar vi in nu arbetspunkten n_{10} - n_{20}

$$\frac{A(\Delta n_2(k) - \Delta n_2(k-1))}{k_c} = a \cdot \sqrt{\frac{g}{2k_c n_{10}}} \cdot \Delta n_1(k-1) \cdot dT - a \cdot \sqrt{\frac{g}{2k_c n_{20}}} \cdot \Delta n_2(k-1)$$

A.5 Z-transformation av vattentankarnas systemekvationer

Med lineariseringen kan systemekvationerna nu Z-transformeras.

Formen för ekvationen inför z-transformationen ska vara så att alla termer som rör utgången ska vara på vänster sidan och termer som har med ingången att göra ska vara på höger sidan. För ekvationen av den övre vattentanken ska alla termer med Δn_1 finnas på vänstra sidan i ekvationen och de med Δu på högre sidan.

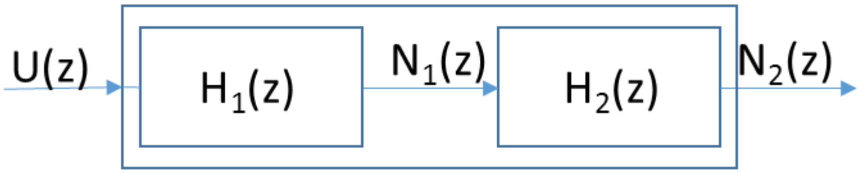
För den nedre vattentanken är ingången flödet från första tanken in i den andra tanken. Flödet är en funktion av första tankens nivåhöjd (Δn_1). Utgången är utflödet på andra tanken vilket är en funktion av andra tankens nivåhöjd (Δn_2). Med andra ord, för andra tanken är Δn_1 ingången och Δn_2 utgången.

A.5.1 Ställ upp systemekvationer för nedre vattentanken med rätt uppdelning mellan vänster och högre sidan:

$$\frac{A}{k_c}(\Delta n_2(k) - \Delta n_2(k-1) + a\, dT(\sqrt{\frac{g}{2k_{cn_{20}}}}\, \Delta n_2(k-1) = a\, dT\sqrt{\frac{g}{2k_{cn_{10}}}}\Delta n_1(k-1) \;\; =>$$

$$\frac{A}{k_c}\Delta n_2(k) + \Delta n_2(k-1) \cdot (a\, dT(\sqrt{\frac{g}{2k_{cn_{20}}}} - \frac{A}{k_c}) = a\, dT\sqrt{\frac{g}{2k_{cn_{10}}}}\Delta n_1(k-1)$$

Syftet med att z-transformera systemekvationerna är att lätt kunna få fram överföringsfunktionerna av både delsystem (=vattentank). Fördelen blir att seriekopplade överföringsfunktioner i z-planet kan multipliceras med varandra för att få fram överföringsfunktionen från u till n2, se bild A.5 nedan.



$$H(z) = H_1(z) \cdot H_2(z)$$

Bild A.5 seriekoppling av överföringsfunktioner $H_1(z)$ och $H_2(z)$

A.5.2 Z-transformationen av överföringsfunktionen $H_1(z)$

$H_1(z)$ är överföringsfunktionen av övre vattentanken, dvs från u till n_1.
Bestäm $H_1(z) = \Delta N_1 / \Delta U$. (Ange både,
en negativ och positiv representation).

$$H_1(z) = \frac{\Delta N_1(z)}{\Delta U(z)} = \frac{\frac{dTkpkc}{A}\cdot z^{-1}}{\left(1+\left(\frac{adT}{A}\sqrt{\frac{g}{2k_c n_{10}}}-1\right)z^{-1}\right)} = negativ\ representation$$

$$\frac{\frac{dTkpkc}{A}\cdot z^{-1}}{\left(1+\left(\frac{adT}{A}\sqrt{\frac{g}{2k_c n_{10}}}-1\right)z^{-1}\right)}\cdot\frac{z}{z} = \frac{\frac{dTkpkc}{A}}{z+\frac{adT}{A}\sqrt{\frac{g}{2k_c n_{10}}}-1} = positiv\ representation$$

$$H_1(z) = \frac{\Delta N_1(z)}{\Delta U(z)} = \frac{b_1\cdot z^{-1}}{1-a_1\cdot z^{-1}}$$

$$b_1 = \frac{dTk_pk_c}{A}$$

$$a_1 = \left(1 - \frac{adT}{A}\sqrt{\frac{g}{2k_c n_{10}}}\right)$$

A.5.3 Z-transformationen av överföringsfunktionen $H_2(z)$

Bestäm $H_2(z) = \Delta N_2 / \Delta N_1$. (Ange både, en negativ och positiv representation).

$H_2(z) = \frac{\Delta N_2(z)}{\Delta N_1(z)}$ *fås genom följande omskrivning till z − transformationen*

$$\frac{A}{k_c}\Delta N_2(z) + \Delta N_2(z)z^{-1}\cdot\left(a\ dT\left(\sqrt{\frac{g}{2k_c n_{20}}} - \frac{A}{k_c}\right) = a\ dT\sqrt{\frac{g}{2k_c n_{10}}}\Delta N_1(z)z^{-1} =\right.$$

$$\Delta N_2(z)\cdot\left(\frac{A}{k_c} + (a\ dT\cdot\sqrt{\frac{g}{2k_c n_{20}}} - \frac{A}{k_c})z^{-1}\right) = a\ dT\sqrt{\frac{g}{2k_c n_{10}}}\cdot\Delta N_1(z)\cdot z^{-1}$$

$$\frac{\Delta N_2(z)}{\Delta N_1(z)} = \frac{a\ dT\sqrt{\frac{g}{2k_c n_{10}}}z^{-1}}{\left(\frac{A}{k_c}+(a\ dT\sqrt{\frac{g}{2k_c n_{20}}}-\frac{A}{k_c})z^{-1}\right)} = \text{För att förenkla det mer får vi:}$$

$$\frac{\Delta N_2(z)}{\Delta N_1(z)} = \frac{\frac{a}{A}dT\sqrt{\frac{gk_c}{2n_{10}}}z^{\hat{}-1}}{(1+(\frac{a}{A}\,dT\sqrt{\frac{gk_c}{2n_{20}}}-1)z^{\hat{}-1})} = negativ\ representation$$

$$\frac{\frac{a}{A}dT\sqrt{\frac{gk_c}{2n_{10}}}z^{\hat{}-1}}{(1+(\frac{a}{A}\,dT\sqrt{\frac{gk_c}{2n_{20}}}-1)z^{\hat{}-1})}\cdot\frac{z}{z} = \frac{\frac{a}{A}dT\sqrt{\frac{gk_c}{2n_{10}}}}{(z+(\frac{a}{A}\,dT\sqrt{\frac{gk_c}{2k_c n_{20}}}-1))} = positiv\ representation$$

$$b_2 = \frac{a\cdot dT}{A}\sqrt{\frac{gk_c}{2n_{10}}}$$

$$a_2 = \left(1 - \frac{a\cdot dT}{A}\sqrt{\frac{gk_c}{2n_{20}}}\right)$$

A.5.4 Z-transformationen av hela överföringsfunktionen H(z)

Genom multiplikation av de seriekopplade delsystemen får man den totala överföringsfunktionen $H(z) = H_1(z) \cdot H_2(z)$

Bestäm H(Z), OBS: uttrycket behöver inte förenklas, det är bra om man ser de enskilda polerna!

$$H(z) = H_1(z) \cdot H_2(z) = \frac{N_1(z)}{U(z)}\cdot\frac{N_2(z)}{N_1(z)} = \frac{N_2(z)}{U(z)}$$

$$H(z) = \frac{b_1\cdot z^{-1}}{1-a_1\cdot z^{-1}}\cdot\frac{b_2\cdot z^{-1}}{1-a_2\cdot z^{-1}} = \frac{b_1\cdot b_2\cdot z^{-2}}{1-(a_1+a_2)z^{-1} + a_1\cdot a_2\cdot z^{-2}} = \frac{b_1\cdot b_2}{z^2-(a_1+a_2)z + a_1\cdot a_2}$$

B.1 Systemidentifiering av modellparametrarna

I vår matematiska modellering av vattentankmodellen antog vi att vattenbehållarna är identiska. För att beskriva dem använde vi oss av följande modellparametrar med motsvarande enheter:

- Datoralgoritm:
  - dT= samplingstid [sek]
  - u(k)= styrsignal till pumpen [0..255],
  - n(k)= mätvärde efter A/D-omvandlaren [0..1023]

- Vattentank:
  - A är arean i vattentanken [m^2]
  - a = arean av hålen för utflödet [m^2]
  - u_1, u_2, u_3 = in- och utflöden till, ut och mellan tankarna [l/sek] eller [m^3/sek]
  - g = 9, 81 m2/s, gravitationskonstanten
  - y= h_1 eller h_2: vattennivån i vattentanken [m]

- Koppling mellan dator och vattentank
  - k_p= kopplingskoefficienten mellan styrvärdet u [0..255] och flödet u_1 [m^3/sek]
  - kc= kopplingskoefficienten mellan vattennivån [m] och mätningen n(k) av

vattennivån [m^{-1}]

B.1.1 Praktiska experiment för att bestämma A och kp

Det enklaste sättet att bestämma arean A i tanken är att hålla fingret vid hålet i botten och samtidigt fylla tanken med vatten tills höjden av 20 cm är nått. Det finns mätbägare i labben samt hinkar med destillerat vatten som kan användas. (Alternativet är att låta en full tank rinna ut i mätbägaren).

B.1.1.1 Ange hur ni räknar ut A utifrån volymen av vattnet samt vilket värde ni får:

vi fyllde på med 500 ml vatten och läste av höjden till 16,9 cm.

20 cm motsvarar då

$$\frac{500}{16{,}9} \cdot 20 = 591,716ml$$

Volymen av en cylinder fås av

$$V = \pi r^2 h$$

Med våra värden för V och h får vi

$$591,716 = \pi r^2 \cdot 20$$

Omskrivning ger

$$\pi r^2 = \frac{591{,}716}{20} = 29,5858\ cm^2$$

A är alltså $29,59\ cm^2$

(Detta ger oss att radien ska vara 3,07 cm, och diametern 6,14 cm, vilket verkar stämma rätt bra om man mäter med linjal över behållaren.)

B.1.1.2 Tidigare uppskattningar påstår att $A=2734 \cdot 10^{-6}\ m^2$, kan ni bekräfta det?

Inte riktigt. Vi fick att A = $2959 \cdot 10^{-6}\ m^2$

B.1.2 Praktiska experiment för att bestämma kp-kopplingskoefficienten

Kopplingskoefficienten kp anger hur mycket vatten som pumpen pumpar in i första tanken. Om vi antar att pumpstyrningen är lineärt så kan vi bestämma kp genom att mäta tiden som pumpen behöver för att fylla första tanken upp till 20cm när vi sätter styrsignalen u till maximalvärde = 255. Glöm inte att täppa till utflödet!

B.1.2.1 Visa hur ni beräknar kp och ange vilket värde ni får för kp:

Det tog 20 sekunder för tanken att nå 20 cm när styrsignalen var 255. Den nådde alltså 591,716 ml efter 20 sekunder. För att få ett generellt fall för en varierbar PWM måste vi ha med 256 i nämnaren.

Detta betyder att generella fallet blir

$$kp = \frac{591{,}716}{20 \cdot 256} = 0,1156\ ml/s \text{ eller } 0.1156 \cdot 10^{-6} m^3/s \text{ per PWM-värde}$$

B.1.3 Beräkning av kopplingskoefficienten kc

Kopplingskoefficenten kc anger hur nivån i vattentanken omvandlas till ett heltal i datorn. Höjdmätningen antas vara lineärt mellan 0..0,2m och resultera i en spänning mellan 0..10V. Denna spänning måste delas upp med en spänningsdelare då Arduino Due kräver analoga ingångar mellan 0..3.3V. Analoga ingångar omvandlas till digitala heltal med en 10-bitars omvandlare.

B.1.3.1 Visa hur ni beräknar kc och ange vilket värde ni får för kc:

879/0.20=4395

B.1.4 Tidigare beräkningar för "a"

Arean a för hålet av utflöden har tidigare beräknats till: $7 \cdot 10^{-6}$ m^2.
Vi antar att båda hål samt båda tank är likadana. Testet om det stämmer kan göras genom att kolla upp resultatet som ni fick när ni i förra inlämningsuppgift gjorde stegsvaret av det öppna systemet. Kolla upp de slutgiltiga värdena för h1 och h2. Förhoppningsvis har ni kört experimentet länge nog för att kunna se vilka värdena det blir när systemet är i balans. Om tankarna och hålen är mer eller mindre identiska så ska h1 och h2 blir lika stora.

B.1.4.1 Kan ni bekräfta att h1 och h2 i det öppna stegsvaret blir lika varandra? Ange värdena som ni fick.

Nej, värden skiljer sig lite. För den övre hamnade den på 420 medan den undre hamnade på 341, dvs 80 ungefär i skillnad. Man hade trott att dem skulle vara samma då dem rinner ut lika mycket men det som händer är att, trycket i behållaren beror på hur mycket vatten som finns i behållaren, när den hittar sitt jämviktsläge så kommer dessa inte ha samma nivå.

En annan kontroll som kan genomföras är att tidigare genomförda praktiska resultat visade att kvoten av a/A är ungefär lika med 2,1.10-3.

B.1.4.2 Vilket värdet får ni för a/A med det A:et som ni har mätt?

$2,35 \cdot 10^{-3}$

B.1.5 Arbetspunkt för linearisering av vattenflödet

Ett bra val för arbetspunkterna h_{10} och h_{20} är ca hälften av höjden, dvs 0,1m.

B.1.5.1 Vad blir det för respektive värden för n_{10} och n_{20} ?

Hälften av övre tank 879/2≈440=n10
Hälften av nedre tank 873/2≈437=n20

B.1.6 Val av samplingstid dT

Välj samma samplingstid som ni använde i era regulatorer i första inlämningsuppgift. Om ni har använt er av flera olika så välj antingen 0,8 sek eller 1 sek.

B.1.6.1 Vad väljer ni för dT= 1 sek

C.1 Överföringsfunktionerna med identifierade systemparametrar

Nu när parametrarna är kvantifierade (dvs att de har konkreta värden) kan de sättas in i överföringsfunktionerna. Med hjälp av Matlab Contro Toolboxen kan man sedan simulera stegsvaren, så som ni gjorde i förra inlämningsuppgiften. Den intressanta frågan är om det finns stora skillnader mellan dessa två resultat?

C.1.1 Hur blir överföringsfunktionen för övre vattentanken (H1(z)) med de identifierade parametrarna insatta i ekvationen?

<u>Övre Tank:</u>

$$b_1 = \frac{dT\,k_p k_c}{A} = \frac{1\cdot 0.1156\cdot 10^{\hat{}-6}\cdot 4395}{2959\cdot 10^{-6}} = 0.1717005745184$$

$$a_1 = \left(1 - \frac{adT}{A}\sqrt{\frac{gk_c}{2k_c n_{10}}}\right) = \left(1 - \frac{7\cdot 10^{\hat{}-6}\cdot 1}{2959\cdot 10^{\hat{}-6}}\sqrt{\frac{9.82\cdot 4395}{2\cdot 4395\cdot 440}}\right) =$$

$$= 1 - 3.769537282\cdot 10^{\hat{}-6} = 0.99965144465$$

<u>Överföringsfunktionen blir då:</u>

$$H_1(z) = \frac{\Delta N_1(z)}{\Delta U(z)} = \frac{0.1717005745184\cdot z^{-1}}{1-0.99965144465\cdot z^{-1}}$$

C.1.2 Hur blir överföringsfunktionen för hela vattentankmodellen (H(z)) med de identifierade parametrarna insatta i ekvationen?

<u>Undre Tank:</u>

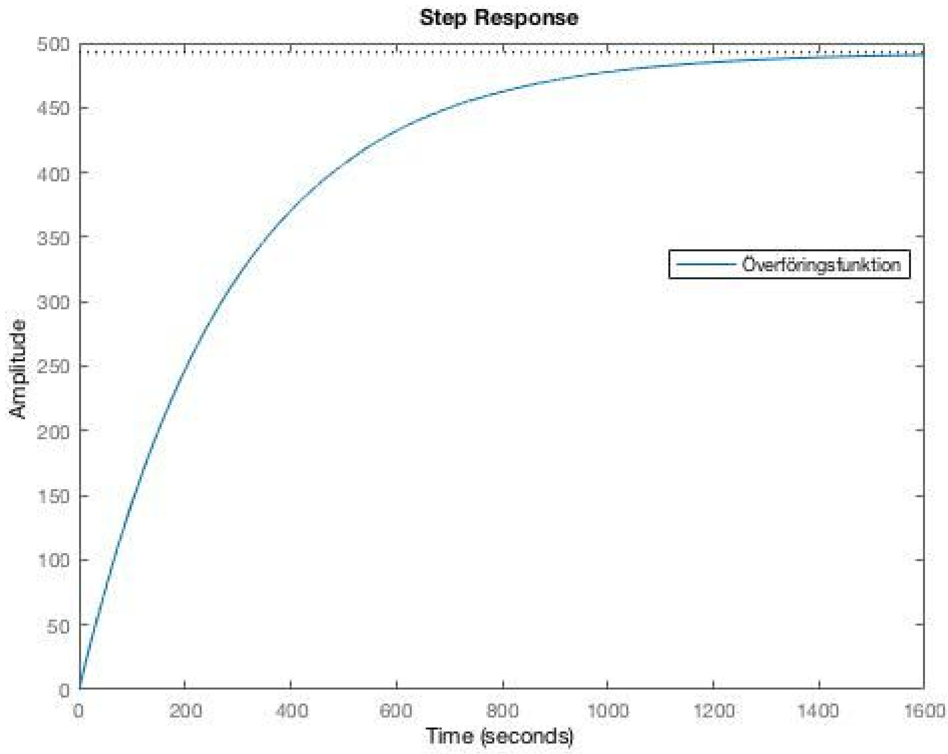
$$b_2 = \frac{a\cdot dT}{A}\sqrt{\frac{gk_c}{2n_{10}}} = \frac{7\cdot 10^{\hat{}-6}\cdot 1}{2959\cdot 10^{\hat{}-6}}\sqrt{\frac{9.82\cdot 4395}{2\cdot 440}} = 0.01656711635$$

$$a_2 = \left(1 - \frac{a\cdot dT}{A}\sqrt{\frac{gk_c}{2n_{20}}}\right) = 1 - \frac{7\cdot 10^{\hat{}-6}\cdot 1}{2959\cdot 10^{\hat{}-6}}\sqrt{\frac{9.82\cdot 4395}{2\cdot 437}} = 1 - 0.016623885622 = 0.9833761143777$$

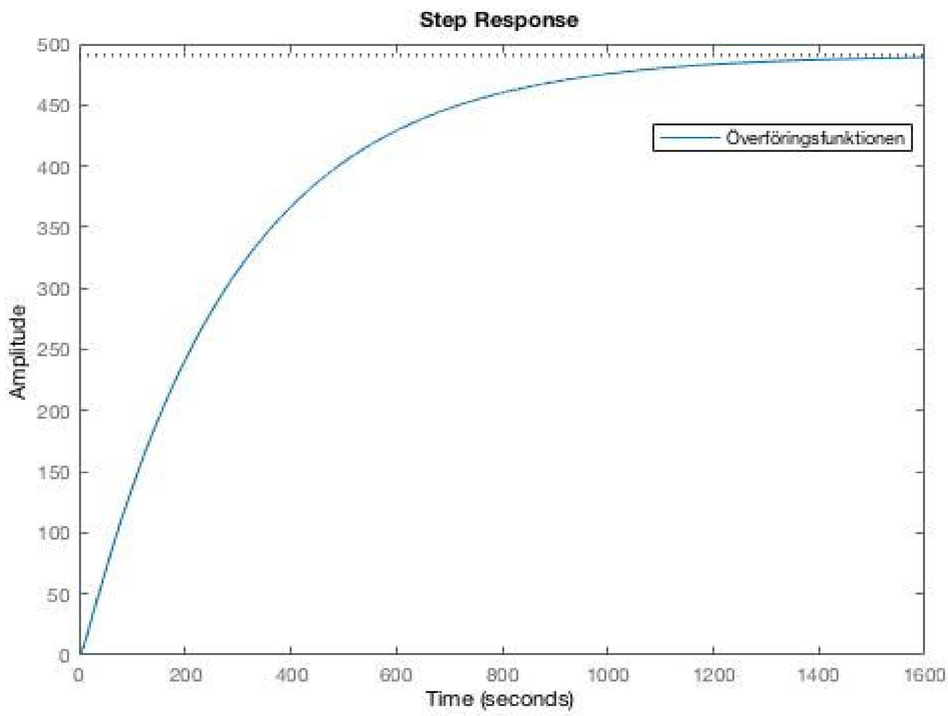
<u>Detta resulterar tillsammans till:</u>

$$\frac{b_1\cdot b_2}{z^2-(a_1+a_2)z + a_1\cdot a_2} = \frac{0.1717005745184\cdot 0.01656711635}{z^2-(0.99965144465 + 0.9833761143777)z + 0.99965144465\cdot 0.9833761143777} = \frac{0.0028445833954}{z^2-1.9830275590277z + 0.98303335337}$$

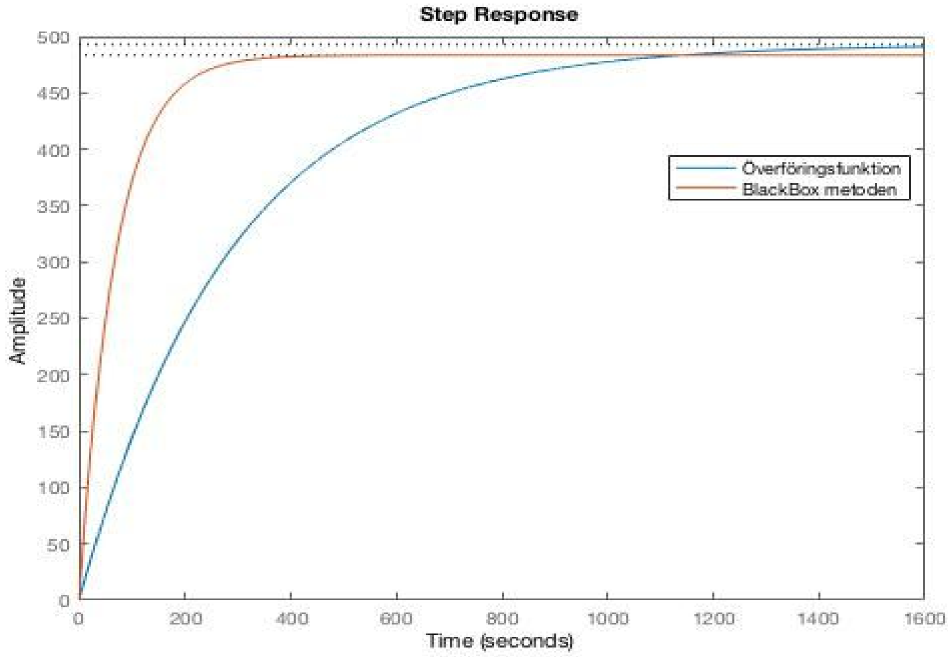
C.1.3 Klistra in Matlabsimulationen av stegsvaren för övre vattentanken:



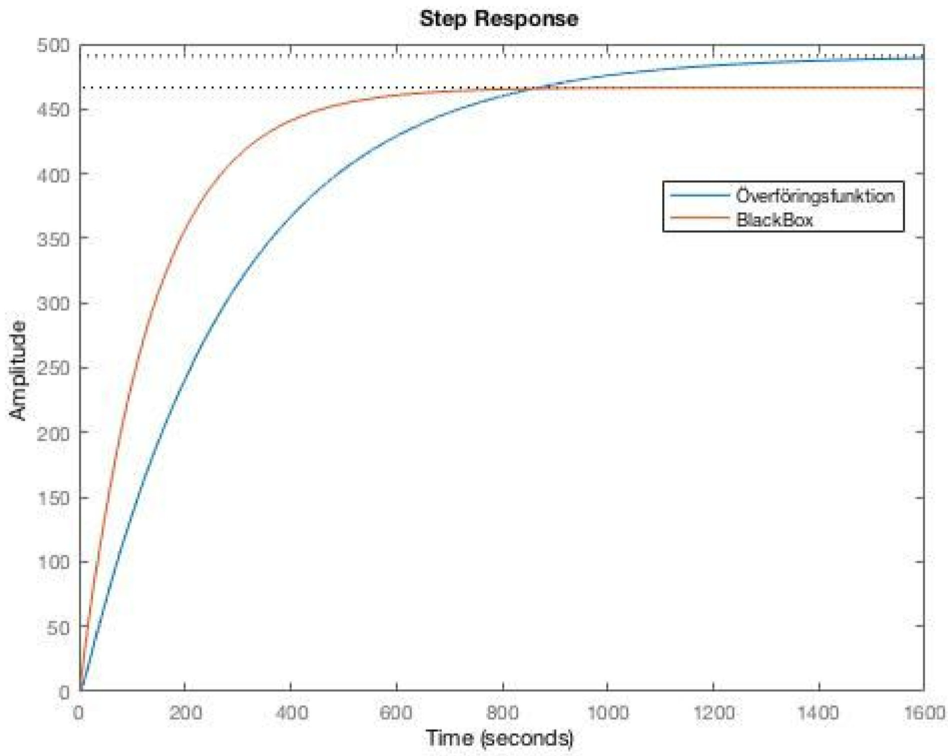
C.1.4 Klistra in Matlabsimulationen av stegsvaren för hela vattentankmodellen:
Något som vi vill påpeka att vi hade en jätteliten dötid vilket inte syns i bilden, men zoomar man in på denna plott, ser man att det finns en dötid på några sekunder



C.1.5 Jämför verkliga stegsvaret för övre tanken med de simulerade (från förra inlämningsuppgiften med black-box-identifikation och med denna simulation). Klistra in en graf med alla kurvor.



C.1.6 Jämför verkliga stegsvaret för hela vattentankenmodell med de simulerade (från förra inlämningsuppgiften med black-box-identifikation och med denna simulation). Klistra in en graf med alla kurvor.



A.6 Beräkning av egenskaper

A.6.1 Stabilitet och kritisk förstärkning

Kunskapen om den matematiska beskrivningen av reglersystem kan användas för att analysera och beräkna kritiska egenskaper hos tidsdiskreta system.
Vi utgår i detta avsnitt från en P-reglering för nivåregleringen av nedre vattentanken enligt figur A.6.1:

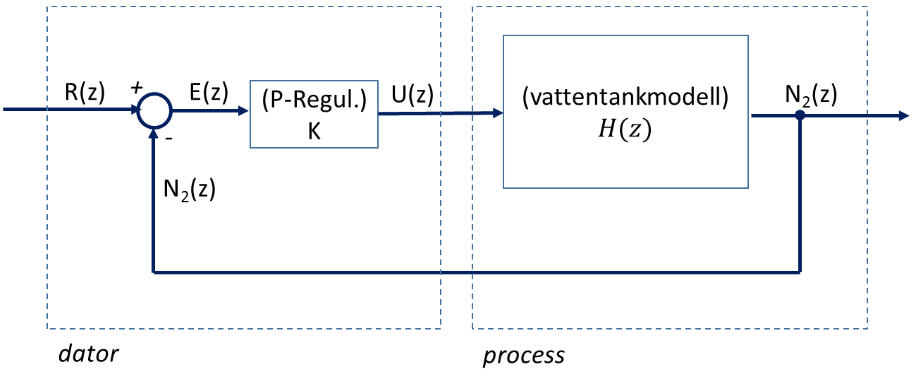


Fig. A.6.1: Översikt över regelsystemet med P-regulator

För att räkna ut den kritiska förstärkningen K_0 precis innan systemet börjar självsvänga behöver man först bestämma polerna för systemets återkopplade överföringsfunktion i funktion av förstärkningen K (P-regulators förstärkning). Sedan bestämmer man K så att polen/polerna ligger på enhetskretsen på ”vänster” sidan, dvs t.ex. p=-1.

A.6.1.1 Vilket är det slutna systemets överföringsfunktion HT(z)? Visa de olika steg hur man kommer fram till den.

$$\frac{KH_T(z)}{1+KH_T(z)} = \frac{\dfrac{K(b_1\cdot b_2)}{z^2-(a_1+a_2)z+a_1\cdot a_2}}{1+\dfrac{K(b_1\cdot b_2)}{z^2-(a_1+a_2)z+a_1\cdot a_2}}$$

<u>Omvandlar 1:a i nämnaren till Mgn</u>

$$\frac{\dfrac{K(b_1\cdot b_2)}{z^2-(a_1+a_2)z+a_1\cdot a_2}}{\dfrac{z^2-(a_1+a_2)z+a_1\cdot a_2}{z^2-(a_1+a_2)z+a_1\cdot a_2}+\dfrac{K(b_1\cdot b_2)}{z^2-(a_1+a_2)z+a_1\cdot a_2}}$$

<u>Flippar ekvationen:</u>

$$\frac{K(b_1\cdot b_2)\cdot(z^2-(a_1+a_2)z+a_1\cdot a_2)}{(z^2-(a_1+a_2)z+a_1\cdot a_2)\cdot(z^2-(a_1+a_2)z+a_1\cdot a_2+K(b_1\cdot b_2))} = \frac{K(b_1\cdot b_2)}{(z^2-(a_1+a_2)z+a_1\cdot a_2+K(b_1\cdot b_2))}$$

Vi ser att det är samma i täljaren och nämnaren och därför stryker dem

A.6.1.2 Vilket är det karakteristiska polynomet?

Det karakteristiska polynomet får vi till då → $z^2 - (a_1 + a_2)z + a_1 \cdot a_2 + K(b_1 \cdot b_2) = 0$

A.6.1.3 Vilket blir den kritiska förstärkningen K_0 när systemet börjar självsvänga?

$pq - formeln\ ger:\ \pm\sqrt{\frac{(a_1+a_2)^2}{4} - a_1 \cdot a_2 - K(b_1 \cdot b_2)} = -1 + \frac{(a_1+a_2)}{2}$

(för pq-) $-\frac{(a_1+a_2)^2}{4} - a_1 \cdot a_2 - K(b_1 \cdot b_2) = 1 - \frac{(a_1+a_2)^2}{4}$ => $- a_1 \cdot a_2 - K(b_1 \cdot b_2) = 1$

$K = -\frac{(1+a_1 a_2)}{b_1 b_2}$

För pq- får vi K till

K= -697,1261

(för pq +) $\frac{(a_1+a_2)^2}{4} + \frac{(a_1+a_2)^2}{4} - a_1 \cdot a_2 - K(b_1 \cdot b_2) = 1$ => $2 \cdot \frac{(a_1+a_2)^2}{4} - a_1 \cdot a_2 - K(b_1 \cdot b_2) = 1$

För pq+ får vi K till

K= -5,91799

Vi får negativa tal vilket innebär negativ "förstärkning" och därför kan sägas sakna lösning

A.6.2 Statisk noggrannhet

Vi vet från teorin och de praktiska experimenten att en P-regulator resulterar i ett kvarstående fel som är större om förstärkningen K är mindre. Med formeln och exempel i kursboken kan man räkna ut det kvarstående felet för vår P-regulator i vattentankmodellen. I förra uppgiften har ni reglerat övre vattentanken med P-regulatorn, ni behöver därför först räkna ut den slutna överföringsfunktionen av den övre vattentank tillsammans med en P-regulator.

A.6.2.1 Vilket är formeln för att räkna ut det kvarstående felet med det givna systemet (övre vattentank och P-regulator)? (Inklusive givare).

$$e_0 = \lim_{z\to 1} \frac{a}{1+KH(z)}$$

$$e_0 = \lim_{z\to 1} \frac{a}{1+\frac{K(b_1 \cdot b_2)}{z^2-(a_1+a_2)z + a_1 \cdot a_2}}$$

A.6.2.2 Vilket blir resultatet för det kvarstående felet enligt formeln?

$$e_0 = \frac{60}{1+\frac{7\cdot(b_1 \cdot b_2)}{1^2-(a_1+a_2)1 + a_1 \cdot a_2}} = 0{,}017454$$

C. 2 Jämförelse mellan beräknad och experimentellt bestämde egenskaper

Den kritiska förstärkningen bestämdes experimentell i förra uppgiften i samband med Ziegler-Nichols tumregel.

C.2.1 Hur stor eller lite är skillnaden mellan den beräknade och den experimentell bestämde

kritiska förstärkningen?
Eftersom vi fick en negativ förstärkning kan man inte riktig jämföra med den. Ifall man skulle kolla på absolutbeloppet så stämmer en av våran värden som vi beräknat till 5.983254 jämfört med det vi fick nu på abs(-5,91799), vilket skulle visa sig vara ganska nära.

Stationära felet av P-regulatorn kan ni få från era resultat i förra uppgiften.
Ta reda på vilka förstärkning ni valde för P-regulatorn.

C.2.2 Hur stor eller lite är skillnaden mellan det beräknade och det experimentella stationära felet?

Kvarstående felet ligger ganska nära det vi fått fram jämför med det vi beräknat innan och experimenterat fram

Det experimentella beräkningen gav oss 1.3125% jämfört med 0,017454 = 1.74%.

A.7 Dimensionering av tidsdiskret regulator med polplaceringsmetoden

Den stora fördelen med att ta fram en matematisk modell av hela systemet är att man får kunskap om polerna i systemet och hur de beror på parametrarna. Polerna (och delvis också nollställerna) är avgörande för systemets egenskaper, som t.ex stabilitet, snabbhet och formen på stegsvaret.
Som beskriven i kursboken i kap. 19.2 så är tanken med polplaceringsmetoden att genom val av regulatorn kunna påverka polerna hos ett system så att de hamnar i ett önskat läge. Målet är att kunna få ett system med önskade egenskaper.

Regulatornstrukturen som enligt kursboken anses mest fördelaktig visas i figuren A.7. Som man ser, så består regulatorn av flera block.

N

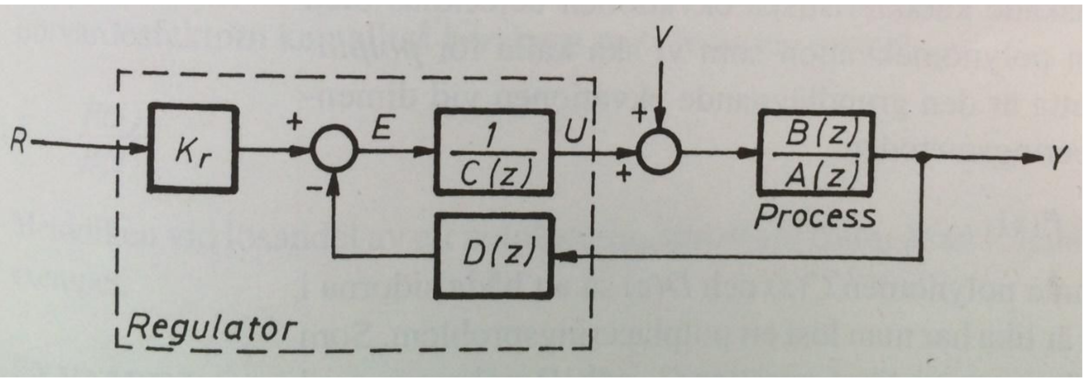


Fig. A.7: Regulatorstruktur vid polplacering, kursboken [1:358]. Y i bokens illustration är vårt N.

Den totala överföringsfunktionen H(z) blir:

$$H_{tot} = \frac{Y(z)}{R(z)} = \frac{K_r \cdot B(z)}{A(z)C(z) + B(z)D(z)}$$

A.7.1 Räkna själv ut den totala överföringsfunktionen och visa steg för steg hur ni kommer fram till rätta resultat.

$$\frac{Y(z)}{R(z)} = Kr \cdot \frac{\frac{1}{C(z)} \cdot \frac{B(z)}{A(z)}}{1 + \frac{1}{c(z)} \cdot \frac{B(z)}{A(z)} \cdot D(z)} = \frac{\frac{Kr \cdot B(z)}{C(z) \cdot A(z)}}{\frac{A(z) \cdot C(z) + B(z) \cdot D(z)}{C(z) \cdot A(z)}}$$

$$Flippar\ vi\ ekvationerna\ så\ tas\ C(z) \cdot A(z)\ ut\ varandra\ och\ ger$$

$$\frac{Kr \cdot B(z)}{A(z) \cdot C(z) + B(z) \cdot D(z)}$$

Följande deluppgifter leder fram till en regulator med polplaceringen för hela vattentankmodellen, dvs att regulatorn ska reglera nivån i andra vattentanken.

A.7.2 Vilket är B(z) och A(z) enligt fig. A.7 om man utgår från att det är nivån h2 (n2) i nedre vattentanken som ska regleras?

Från längre bak i uppgifterna fick vi följande ekvation för nedre vattentank

$$\frac{0.0028445833954}{z^2 - 1.9830275590277z + 0.98303335337} \cdot \frac{z^{-2}}{z^{-2}} = \frac{0.0028445833954z^{-2}}{1 - 1.9830275590277z^{-1} + 0.98303335337z^{-2}}$$

$$Vi\ får\ \ Täljaren: B(z) = 0.0028445833954z^{-2}$$

$$och\ nämnaren$$

$$A(z) = 1 - 1.9830275590277z^{-1} + 0.98303335337z^{-2}$$

A.7.3 Ta fram polplaceringsekvationen:

a) Vilka är gradtalen n_a, n_b, n_c, n_d, n_p till de olika polynomerna? (Följ beskrivningen i kursboken)

Vi får dem till

$n_a = 2$

$n_b = 2$

$n_p = na + nb - 1 = 2 + 2 - 1 = 3$

$n_c = nb - 1 = 1$

$n_d = na - 1 = 2 - 1 = 1$

b) Vilken struktur får C(z) och D(z), och vilka parameter ska sedan bestämmas?

Eftersom nc=1 medför det att C(z) blir:

$C(z) = 1 + c_1 z^{-1}$

Eftersom nd=1 medför det att D(z) blir:

$D(z) = d_0 + d_1 z^{-1}$

Vi behöver bestämma parametrarna $d_0, d_1 och\ c_1$

c) Hur ser polplaceringsekvationen P(z) ut?

Vi vill ha en pol i 0.5 detta ger med följande formel:

$$P(z) = A(z)\cdot C(z) + B(z)\cdot D(z)$$

$$P(z) = (1-0.5z^{-1})(1-0.5z^{-1}) = (1-z^{-1}+0.25z^{-2})$$

d) Vilka koefficienter får vi om vi vill ha polen i närheten av 0,5?

Från föregående exempel fick vi P(z) till:

$$P(z) = 1-z^{-1}+0.25z^{-2}$$

$$AC+BD = (1-1.9830275590277z^{-1}\ +0.98303335337z^{-2})(1+c_1z^{-1}) + (0.0028445833954z^{-2})(d_0+d_1z^{-1}) = 1-z^{-1}+0.25z^{-2}$$

$$AC = 1 + c_1z^{-1} - 1.9830275590277z^{-1} - c_1 1.9830275590277z^{-2} + 0.98303335337z^{-2} + c_1 0.98303335337z^{-3}$$

$$BD = d_0\cdot 0.0028445833954z^{-2}\ + d_1 0.0028445833954z^{-3}$$

$$AC+BD = 1+(c_1-1.9830275590277)z^{-1} + (-c_1 1.9830275590277 + 0.98303335337 + d_0 0.0028445833954)z^{-2} + \\ + (c_1 0.98303335337 + d_1 0.0028445833954)z^{-3} = 1-z^{-1}+0.25z^{-2}$$

För c_1 får vi fram att det är:

$$c_1 - 1.9830275590277 = -1$$

$$c_1 = -1 + 1.9830275590277 = 0.983027559$$

För d_0 får vi fram att det är:

$$-c_1 1.9830275590277 + 0.98303335337 + d_0 0.0028445833954 = 0.25$$

$$d_0 = \frac{0.25 + c_1 1.9830275590277 - 0.98303335337}{0.0028445833954} = 427.597725$$

För d_1 får vi fram att det är:

$$c_1 0.98303335337 + d_1 0.0028445833954 = 0$$

$$d_1 = \frac{-c_1 0.98303335337}{0.0028445833954} = -339.715433$$

A.7.4 Räkna ut Börvärdesfaktorn Kr:

$$K_r = \frac{P(1)}{B(1)} = \frac{1-1^{-1}+0.25\cdot 1^{-2}}{0.0028445833954\cdot 1^{-2}} = \frac{1-1+0.25}{0.0028445833954} = 87.8863317575$$

I nästa steg ska ni reda ut hur D(z) kan programmeras i Matlab. D(z) är enligt fig. A.7 överföringsfunktionen som har N(z) som ingång. Utgången har ingen beteckning i figuren men vi kan skriva den som $Y_2(z)$.

Anta att D(z) är en överföringsfunktion andra gradens, så skulle man kunna beskriva följande sammanhang:

$D(z)= d_0+d_1z^{-1} +d_2z^{-2}$ (vårt antagande)

$D(z) = Y_2(z)/N(z)$ (enligt definition av en överföringsfunktion)

=>

$N(z)(d_0+d_1z^{-1} +d_2z^{-2})=Y_2(z)$

Med hjälp av denna ekvation kan man direkt komma fram till det tidsdiskreta fallet:

$y_2(k)= d_0\ n(k)+ d_1\ n(k-1)+d_2\ n(k-2)$

som lätt går att programmera i Matlab när n(k) är känd och $y_2(k)$ ska räknas ut.

A.7.5 Vilket är den tidsdiskreta formel som ska programmeras i Matlab som motsvarar D(z) i z-planet?

$$D(z) = 427.597725 - 339.715433z^{-1}$$

$$N(z) \cdot D(z) = Y_2(z)$$

Eller ifall man skriver om det tidsdiskreta i vårt fall ger

$$y_2(k) = 427.597725 \cdot n(k) - 339.71543 \cdot n(k-1)$$

Gör nu samma sak för överföringsfunktionen 1/C(z) som ni gjorde precis i uppgiften innan för att få fram programmeringen för D(z).

A.7.6 Programmeringen av 1/C(z)

a) Vad är ingångssignalen och vad är utgångssignalen till blocket 1/C(z)
   Ingångssignalen till 1/C(z) är E och utgångssignalen från 1/C(z) är U.

$$C(z) = 1 + c_1 z^{-1} = 1 + 0.983027559z^{-1}$$

$$\frac{1}{C(z)} = \frac{1}{1+0.983027559z^{-1}}$$

eller i tidsdiskret ger det:

$$\frac{1}{1+0.983027559 \cdot n(k-1)}$$

b) Skriv upp sammanhangen mellan överföringsfunktionen och in- och utgångarna, välj C(z) enligt tidigare beräkning.

$$\frac{U}{E} = \frac{1}{C(z)} \Rightarrow E = U \cdot C(z) \Rightarrow e(k) = 87.88633175 \cdot r(k) \; - 427.597725 \cdot n(k) + 339.71543 \cdot n(k-1)$$

och u(k) får vi till

$$u(k) = e(k) + C(z) \;\Rightarrow u(k) = e(k) - 0.983027559 \cdot u(k-1)$$

$$e(k) = Kr \cdot r(k) - (d_0 \cdot u(k) + d_1 \cdot u(k-1))$$

$$u(k) = e(k) - (c_1 \cdot u(k-1))$$

c) Gör en invers z-transformation och skriv upp programråden för att beräkna u(k) utifrån e(k).

$$u(k) = e(k) - 0.983027559 \cdot u(k-1) \; eller \; \frac{e(k)}{1+c_1 \cdot u(k-1)}$$

$$e(k) = 87.8863317575 \cdot r(k) \; - (427.597725 \cdot u(k) + 339.71543 \cdot u(k-1))$$

A.8 Matlabprogram för regulatorn med polplacering

Skriv en Matlabfunktion "vm_polh2()" som motsvarar regulatorn med polplaceringen.

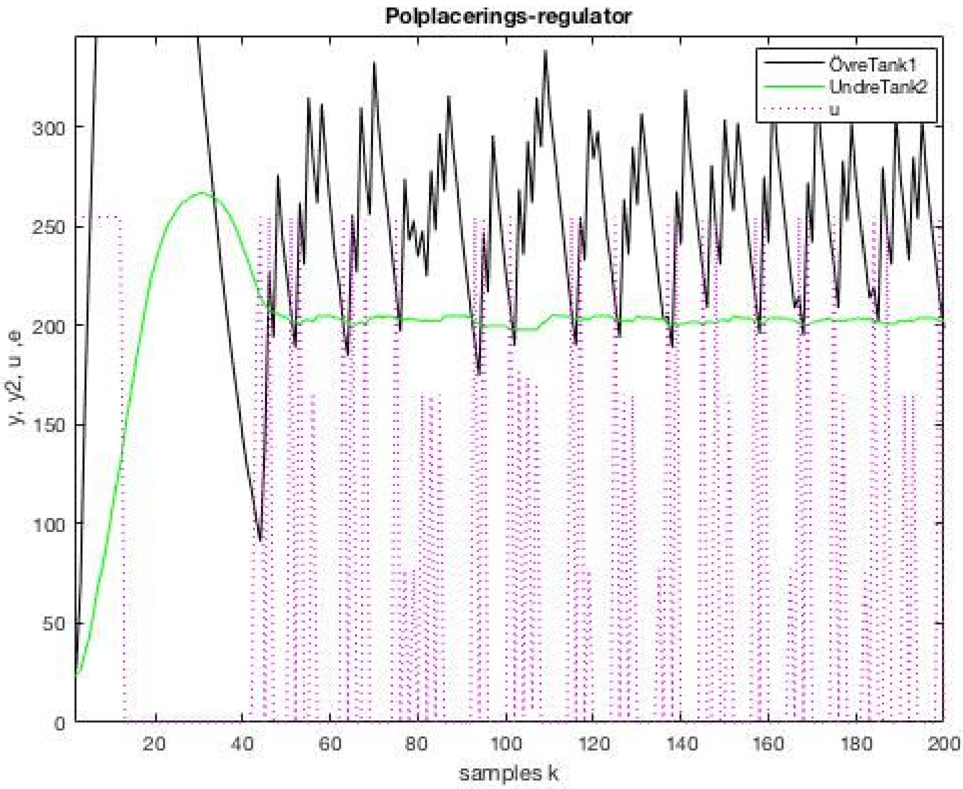
A.8.1 Kopiera in regulator-delen från er Matlabfunktion som visar hur ni har programmerat de olika blocken (Kr, 1/C(z), och D(z)).

```
d0= 427.597725;
d1= -339.715433;
c1=0.983027559;
kr=87.8863317575;
```

```
if(k==1)
    e(k)=(kr*v)-(d0*y2(k));
    u(k)=e(k)+(-(c1*(u(k))));
  else
    e(k)=(kr*v)-((d0*y2(k))+(d1*y2(k-1)));
    u(k)=e(k)+(-(c1*(u(k-1))));
  end
  u(k)=min(max(0, round(u(k))), 255);
```

B.2 Experiment med regulatorn med polplacering

B.2.1 Klistra in grafen från regleringen här:



C.2 Diskussion av systemets stegsvar

Försök att bedöma om stegsvaren från regleringen med polplacerings-regulatorn i experimenten motsvarar förväntningen för placeringen av polerna (nära 0,5). Titta på ”kartan” nedan för att få hjälp med att tolka stegsvaren.

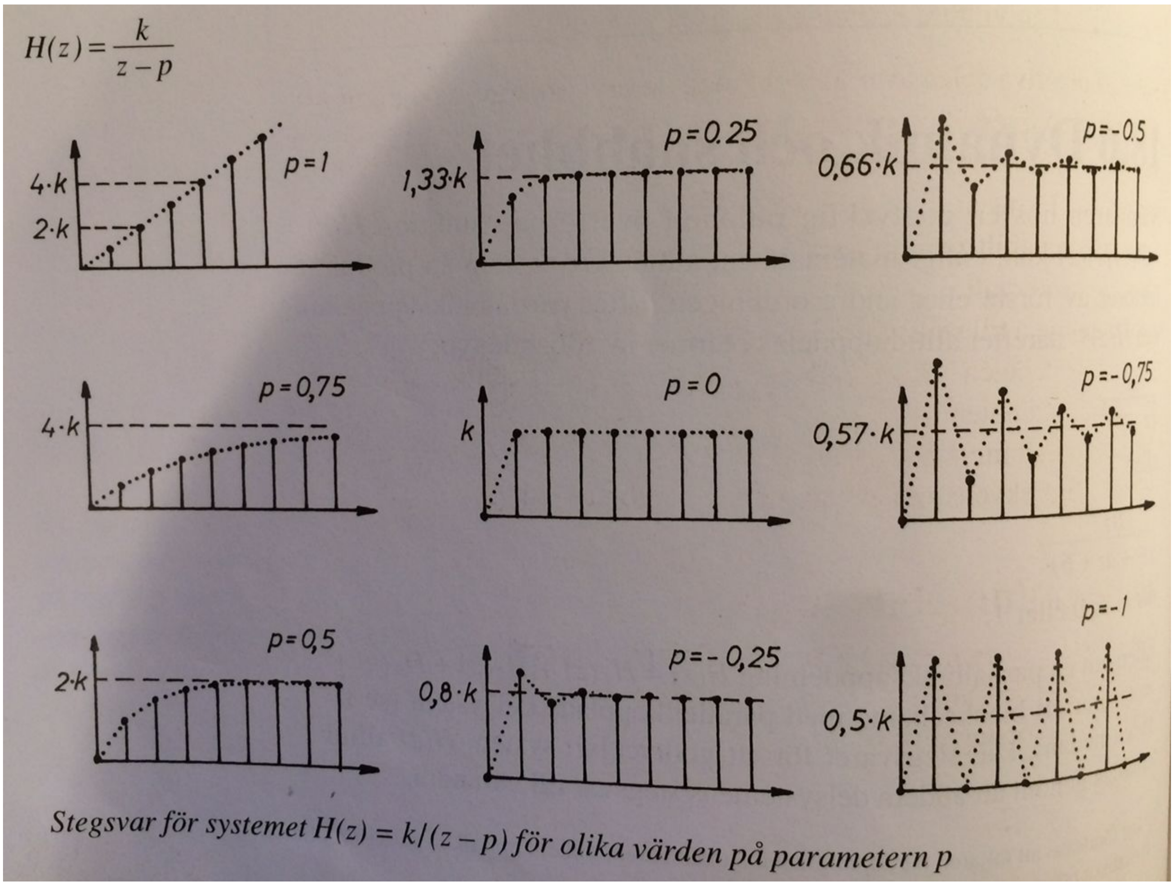


Fig.: Stegsvar av ett tidsdiskret system beroende på polplaceringen i z-planet

C.2.1 Förklara era resultat:

Vi fick inte kurvan enligt p=0.5 som vi hade tänkt oss, det blev en lite mindre svängning och sedan en stabil kurva. Det gick ganska snabbt tills den svängde in vilket blev bra samt att det la sig på börvärdet ganska bra samt snabbt.

C.3 Jämförelse mellan PID- och polplacerings-regulatorer

Välj den bästa PID-regulatorn från förra uppgiften för att jämföra med polplaceringen.

C.3.1 Fyll i tabellen:

		PID	Polplacering
Stigtid		179	28
Max. översvängning		154	70
Insvängningstid		33	32
Kvarstående fel		1.3125%	1%

C.3.2 Diskutera era resultat från tabellen:

Vi jämförde med våra resultat för Ziegler-Nichols metod från förra laborationen.
Stigtiden för polplaceringsreguleringen blev lägre än stigtiden för ZN. Max översvänging var också lägre. Insvängningstiden blev något lägre, men knappt, och det kvarstående felet blev lägre.

Polplaceringen var alltså en bättre metod än ZN i alla fall vi testat, även om insvängningstiden är nästan samma för de två regulatorerna.

D. Reflektion och utvärdering över det egna lärandet

Tidigare studenter har framfört olika åsikter om denna tredje del. För att förklara vad den går ut på hänvisar jag till kapitel om ”Reflektionsdokumentet” i Andersen och Schwenckes bok ”Projektarbete – en vägledning för studenter”, Studentlitteratur. Författarna beskriver syftet med reflektion över sitt lärande sammanfattningsvis ungefär på följande sätt:
Det handlar om att öka medvetenheten om den egna inlärningsprocessen. Genom denna reflektion lär du känna dig själv, och hur du förhåller dig till dina medstudenter. Du blir också tryggare i dig själv och det du har gjort och står för. Du blir också mer medveten om hur du lär, så att du kan styra inlärningen och studierna i din egen riktning och ta ansvar för din egen inlärning. Du utvecklar medvetenhet om inlärning och stärker din egen förmåga att arbeta effektivt på längre sikt.
Vidare är det ett viktigt syfte att ge feedback, både till läraren, kursansvarig och till skolan. Därmed blir det möjligt att göra förbättringar för senare studentkullar.

I fall att ni känner att ni inte kan komma på något vettigt att skriva om, så finns en lista med nyckelfrågor i bilagan som ni kan titta på och få inspiration ifrån.

D.1 Vad tycker du/ni var lärorik med uppgiften? (Minst 5 meningar och minst 75 ord!) Vi har kanske blivit lite bättre på att leta efter information i boken. Vi har inte alltid förstått allting, men en del har blivit lite klarare. Det mest lärorika tyckte vi var den första delen av uppgiften, då den var mer lättförstådd. Sista delen av uppgiften var mycket “trial and error” eftersom det inte var helt självklart hur man skulle göra. När vi samarbetade mellan grupperna lyckades vi till slut komma fram till värden och resultat som verkade stämma överens med de vi skulle ha.
D.2 På vilket sätt har ni fördjupat er i något nytt? Vad kände ni från tidigare och på vilket sätt har ni lärt er något nytt utifrån det ni redan kunde? (Minst 5 meningar och minst 75 ord!) Reglerteknik är fortfarande väldigt nytt för oss så det mesta som vi gjort i laborationen har vi gjort för första gången nu. Det här med att matematiskt förstå och förklara reglerteknik med en vattentankmodell var helt nytt. Den praktiska regleringen med en fysisk vattentank och MATLAB hade vi erfarenhet av sedan förra laborationen, så det var mindre svårt. Även att göra beräkningar med blockschemareduktion med seriekoppling, parallellkoppling och återkoppling var helt nytt för denna laboration, men det fanns bra beskrivet i boken hur det fungerade.
D.3 Vad var det svåraste med uppgiften? (Minst 5 meningar och minst 75 ord!) Det var väldigt svårt att veta om vi gjort rätt eller inte under laborationens gång. Vi fick fram olika värden som vi inte visste hur de skulle se ut och var därför osäkra på alla våra värden genom hela labben. Vi diskuterade mellan grupperna in i det sista och ingen av oss var egentligen säkra på hur vi skulle göra. Hur mycket tid totalt har ni lagt ner på att lösa uppgiften och hur mycket av denna tid har ni

lagt på det som ni anser var det svåraste? Vi har spenderat 30+ timmar på laborationen. En väldigt stor del (kanske halva tiden om inte mer) av tiden har vi lagt på att försöka få fram värden som såg någorlunda vettiga ut.
D.4 Synpunkter, förslag, kommentarer? (Minst 5 meningar och minst 75 ord!) Mer tid att laborera hade uppskattats! Det verkade lite som att laborationsmanualen var gjord i sista sekund. Det var väldigt svårt att veta om man fått rätt värden eller ej, eftersom vi inte visste någonting om hur värdena skulle se ut. Precis som i förra labben skulle det vara bra med fler vattentankar, eller mer tid, eftersom vi inte alltid haft möjlighet att testa så mycket som vi hade velat. Det kanske hade varit bra om halva klassen började med en laboration som inte krävde att man hade tillgång till vattentank, medan andra halvan sysslade med en som krävde vattentank.

Bilaga

Översikt över Matlab instruktioner

Matlab-instruktion	argument	Beskrivning
pinMode(a,pin,state)	a: arduino-objektet pin: pin-nummer (2-13) state:'OUTPUT', 'INPUT'	Initialiserar port med pin-nummer till in- eller utgång.
digitalWrite(a,pin,level)	a: arduino-objektet pin: pin-nummer (2-13) level: 0, 1	Sätter en pinne till 0 eller 1. Måste först deklareras som utgång
digitalRead(a,pin)	a: arduino-objektet pin: pin-nummer (2-13)	Läser av status (digitalt värdet) av en pin. Bör deklareras som ingång innan den läses.
analogWrite(a,duty)	a: arduino-objektet Duty: 8-bit PWM signal 0..255	PWM-utgång, låst till DAC1. Använd motorshielden för att styra motorer!!
analogRead(a,pin)	a: arduino-objektet pin: 'A0', 'A1', ('A3')	Läser av en analog pinne. Skall ej deklareras som ingång innan läsning. AD-upplösning 1024bit

```
>> a=arduino_com('COM4')
Attempting connection .............
Connection successful!

a =

Connected to COM4 port

>>
```

Exempel av nyckelfrågor i samband med reflektioner och utvärdering av det eget lärande

- Är du nöjd med samarbetet i gruppen? Vad fungerade bra vad mindre bra?
- Hur fungerade beslutsprocessen i gruppen? Kunde det ha varit bättre?
- Vilken rolluppdelning valde ni? Hur kändes det?

- Hur effektivt och systematiskt var ni? På vilket sätt finns utrymme till förbättring?
- Hur uppfattade ni sambandet mellan teori och tillämpning?
- Hur uppfattade ni sambandet mellan föreläsning och laboration?
- Genomförde ni uppgifterna i ordningen som de står i rapporten eller i vilken ordning besvarade ni frågorna? Hur kändes det så som ni gjorde?
- Vad gjorde ni när det blev problem och/eller ni inte kom vidare? Använde ni både samma strategi? Hur kändes det?
- Hur organiserade ni er inför slutinlämningen? Gick ni igenom alla frågor en gång till gemensam eller lämnade ni bara in allt när ni kände att ni var färdiga?
- Planerade ni fasta tider när ni gemensam i gruppen genomförde laborationsuppgifterna eller hur organiserade ni er?
- ??