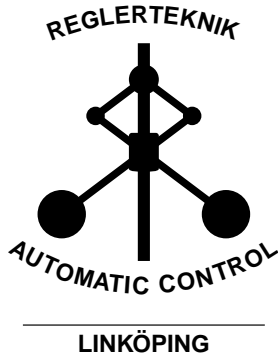
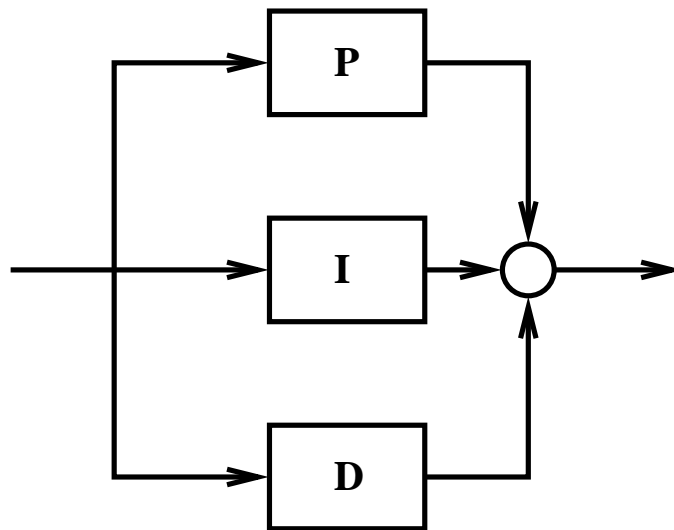


# Reglerteknik grk — Lab 1

## PID-regulatorer och öppen styrning

Denna version: Oktober 2011



Namn: \_\_\_\_\_

Personnr: \_\_\_\_\_

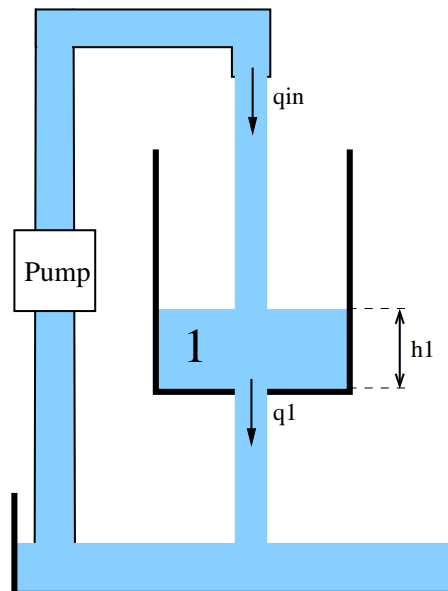
Datum: \_\_\_\_\_

Godkänd: \_\_\_\_\_



# 1 Inledning

Syftet med den här laborationen är dubbelt. Den skall dels illustrera och konkretisera de begrepp som behandlas på föreläsningar och lektioner. Dels skall den visa den i industrin vanligast förekommande typen av regulatorer, så kallade PID-regulatorer. Förutom att de är vanliga har PID-regulatorer den trevliga egenskapen att de tydligt illustrerar de grundläggande reglerprinciperna. Dessa principer återfinns även i mer komplicerade typer av regulatorer. För att bekanta dig med PID-reglering skall du använda regulatorn för att reglera vattennivån i en tank. Två fall kommer att undersökas. Först skall du reglera nivån i en tank där du styr inflödet direkt via en pump, se figur 1. Sedan ska du försöka reglera den undre nivån i två seriekopplade tankar, dvs ett mer komplext system.

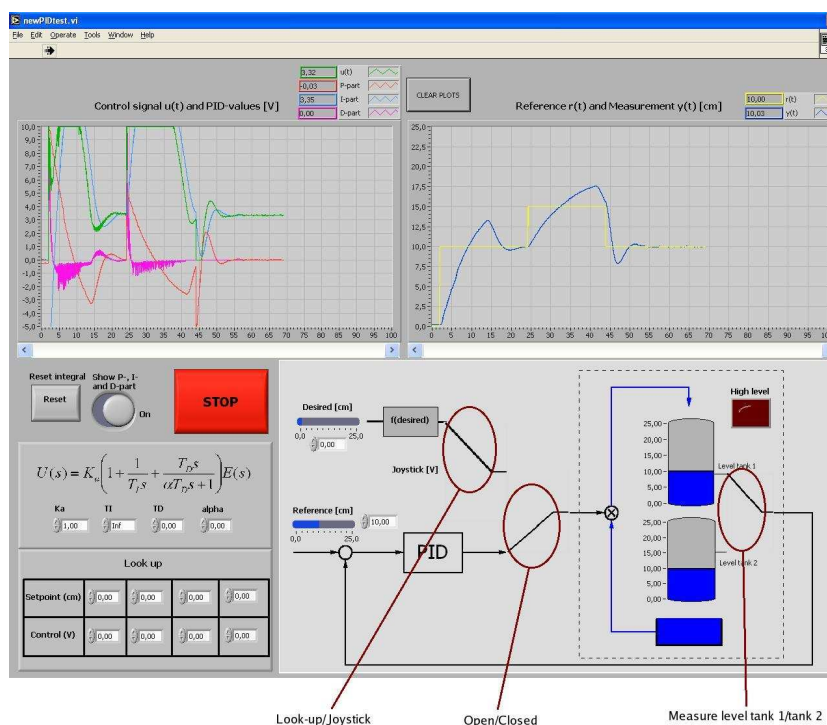


Figur 1: Skiss av tanksystem som skall regleras.

## 2 Datormiljö

För att starta upp programmet som beskrivs nedan behöver man dubbelklicka på filen "PID" som ligger på skrivbordet. Du startar gränssnittet genom att klicka på pilen i övre vänstra hörnet och stoppar genom att klicka på knappen märkt 'STOP'.

Processen, som i denna laboration består av två tankar, styrs via datorn i ett gränssnitt som visas i figur 2. Det finns tre fall som systemet kan ställas in för. De är sluten styrning med en PID som regulator samt öppen styrning med antingen manuell styrsignal (från styrspak) eller en styrsignal som är interpolerad från 'Look-up table'. De olika alternativen väljer du genom att klicka på de två omkopplarna som finns till vänster i blockschemat. Det finns även möjlighet att byta mätsignal mellan de två tankarna genom att klicka på omkopplaren till höger om tankarna i gränssnittet. Skalan på graferna kan ändras genom att dubbelklicka på ett av skalans värden och skriva dit sitt eget.



Figur 2: Gränssnitt för processen.

## 2.1 Förklaringar

Nedan förklaras de inställningar som kan göras i programmet.

**Start** Genom att klicka på knappen med en pil på (längst upp till vänster) så startas realtidsprocessen.

**Stop** Programmet stoppas genom att klicka på den röda knappen märkt 'STOP'.

**Graf** Till vänster finns en graf som presenterar styrsignalen  $u(t)$  och dess PID-komponenter. Grafen till höger visar referenssignalen (gul) och mätsignalen (blå). Skalorna på graferna kan ändras genom att dubbelklicka på det min- eller maxvärde som ska ändras.

**Clear plots** Genom att klicka på denna knapp rensas graferna och en ny utritning påbörjas.

**Show P-, I- and D-part** Väljer om delkomponenterna i styrsignalen  $u(t)$  skall presenteras i den vänstra grafen.

$K_a, T_I, T_D, \alpha$  Här väljs parametrarna i PID regulatorn.

**Look-up** Interpolationspunkter för modellen som används vid öppen styrning.

**Reference** Referenssignalen  $r(t)$  sätts antingen via reglaget eller skrivs in i rutan. Den kan även ökas eller minskas med pilarna som sitter ihop med rutan.

**High-level** Programmet avbryts om nivån i en tank är för hög. Den här lampan lyser om det inträffar.

### 3 Nivåreglering av enkeltank

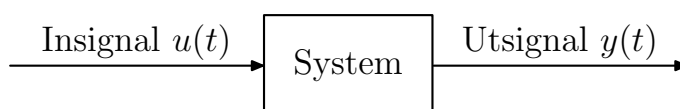
Den första regleruppgiften är att reglera den övre tanken, vars nivå skall hållas konstant. Den undre tanken ignoreras under denna del av laborationen. Tanken har ett hål i botten, och vattnet rinner genom detta ner i den undre tanken och sedan ner i ett dräneringskärl. I den övre tanken finns det även ett extra utlopp som leder vatten direkt till kärlet. Med en elektrisk pump pumpas vattnet sedan upp i tanken igen. Problemet består i att styra spänningen till pumpen så att nivån blir den önskade. Ett större pumpflöde ger naturligtvis jämvikt vid en högre vattennivå. Regleringen skall kunna klara av förändringar i den önskade nivån (referensvärdet) samt störningar som t ex extra inflöde eller att det extra avloppet används. Nivåregleringsproblem av den här typen är vanliga inom exempelvis processindustrin.

Genomgående i detta kapitel är att endast den övre tanken används. Ignorera effekterna i den undre tanken och se till att mätsignalen kommer ifrån den övre tanken (ställ in i gränssnittet).

#### 3.1 Experiment: Manuell styrning

Vi skall börja med att styra inspänningen till pumpen direkt med ett manuellt val i form av en styrspak. Koppla in styrspaken till insignal "ACH2" på mätkortet. Se till att jorda den svarta kabeln!

När man diskuterar reglerproblem är det vanligt att de åskådliggörs med hjälp av blockscheman. I figur 3 finns ett blockschema för vårt reglerproblem.



Figur 3: Blockscheman för reglersystemet.

I figur 3 har vi betecknat utsignalen, i vårt fall vattennivån, med  $y(t)$ . Insignalen, spänningen till pumpen, betecknas  $u(t)$ . Blocket som är märkt 'System' får representera hur utsignalen (vattennivån) beror av insignalen (inspänningen till pumpen). För att betona att det är med denna insignal som vi styr systemet, kallar vi den i fortsättningen för styrsignal. Fördelen med ett blockschema är att det betonar orsakssambanden snarare än de fysiska komponenter som ingår i systemet. I många situationer har man en

detaljerad kunskap om sambandet mellan styrsignal och utsignal. Det kan då t ex beskrivas med en differentialekvation.

I vårt fall är den enda kunskap vi har om systemet att vattennivån (utsignalen) ökar då vi ökar inspänningen (styrsignalen  $u(t)$ ) till pumpen. Denna kunskap kommer dock att visa sig tillräcklig för att vi skall förstå effekten av de regleringrepp vi gör.

*Välj styrspaken som styrsignal (Sätt omkopplarna så 'joystick' är insignal till pumpen). Testa några olika insignaler och mät upp den nivå som tanken ställer in sig på. (Välj i intervallet 1 – 3V)*

Tanknivå [cm]	Insignal [V]

*Är systemet linjärt? Motivera!*

**Svar:**.....

Genom föregående uppgift har vi skaffat oss en enkel modell av tanksystemet. Försök att använda denna information för att manuellt styra tanknivån, dvs öppen manuell styrning av tanken.

*En person i gruppen styr insignalen genom att välja insignal utan att titta på nivån i tanken. Denna person får enbart titta på grafen som visar insignalen till pumpen. En annan person i gruppen säger vilken vattennivå som skall nås och antecknar, utan att tala om för den andra personen, hur bra styrningen går.*

*Hur fungerar denna reglering?*

**Svar:**.....

*Öppna (delvis) kranen till det extra utloppet och upprepa ovanstående. Vad händer?*

**Svar:**.....

Styrningen som gjordes i uppgiften ovan är ett exempel på öppen styrning, vilket innebär att regulatoren inte har tillgång till några mätningar från systemet. Vi ska nu göra om experimentet men med modifikationen att personen som styr pumpen själv får titta på vattennivån då han styr pumpen. Detta är alltså ett exempel på sluten styrning, där återkopplingen sker med ögonen (människan som regulator).

*En person i gruppen styr insignalen samtidigt som samma person får titta på vattennivån. Försök styra in mot samma vattennivåer som i experimentet ovan! Hur går det?*

**Svar:** .....

*Vad händer nu om det extra utloppet används?*

**Svar:** .....

Du har nu fått prova på både öppen och sluten styrning och förhoppningsvis skaffat dig lite erfarenheter från dessa.

*Vilka för- och nackdelar finns med öppen respektive sluten styrning? När krävs modell av processen? När krävs sensorer?*

**Svar:** .....

## 3.2 Experiment: Automatisk styrning

### 3.2.1 Öppen styrning

Ett sätt att automatisera den öppna styrningen är genom att lägga in den tabell som ni skapade i experiment 3.1 i datorn. Tabellen talar om för datorn vilken styrsignal som ger den önskade tanknivån.

*För att testa den öppna automatiska styrningen ska ni nu mata in dessa värden i interpolationstabellen ('Look-up') i gränssnittet. Gör detta samt verifiera att insignalen till pumpen kommer från tabellen.*

Tabellen definierar en funktion  $f$  som relaterar  $u(t)$  till den önskade nivån  $r(t)$  som

$$u(t) = f(r(t))$$

där  $f$  i det här fallet är en linjär interpolation.

*Testa den öppna automatiska styrningen. När tanknivån den önskade nivån?*

**Svar:**.....

*Vad händer nu om det extra utloppet används?*

**Svar:**.....

Notera att detta är samma fall som när en person inte fick titta på nivån, fast för en dator. Vi ska nu se hur man kan få bättre resultat, jämfört med öppen styrning, genom att använda nivåmätningar. En enkel första ansats är att ta skillnaden mellan den önskade nivån  $r(t)$ , och tanknivån  $y(t)$ , och sedan låta styrsignalen vara lika med denna skillnad förstärkt med en faktor  $K_a$ , dvs proportionell reglering.

### 3.2.2 Återkoppling

För att få bra reglering måste regulatorn kunna kompensera för sådana fel som studerades ovan. I efterföljande stycke presenteras en vanligt förekommande återkopplingsprincip.

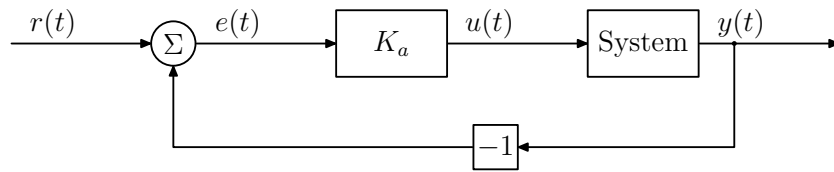
*Ställ in gränssnittet så att regleringen sker med återkoppling. (Ändra den mittre omkopplaren till sitt nedre läge.) Välj  $K_a = 1$ .*

Sambandet mellan utsignalen och insignalerna blir då

$$u(t) = K_a \left( r(t) - y(t) \right)$$

Referenssignalen jämförs i regulatorn med den aktuella vattennivån  $y(t)$ . Detta ger reglerfelet  $e(t) = r(t) - y(t)$ . Inspänningen till pumpen genereras sedan som en konstant  $K_a$  gånger reglerfelet  $e(t)$ .

Den här regleringsprincipen kallas för P-reglering (proportionell). Den regulator som datorn realiserar kallas för en P-regulator. I figur 4 finns ett blockschema för reglersystemet återgivet.



Figur 4: Blockschema vid nivåreglering.

*Vi skall nu undersöka hur valet av regulatorförstärkningen  $K_a$  påverkar systemets uppförande. Ställ in ett referensvärde. Ange vilken vattennivå och vilket reglerfel som fås för detta val av referensvärde.*

**Referens:** ..... cm    **Vattennivå:** ..... cm    **Reglerfel:** ..... cm

Att vi får ett kvarvarande fel i nivån är enkelt att förstå. Vi konstaterade i experiment 3.1 hur många volt styrsignalen måste vara för att vi ska uppnå den önskade nivån. Ur relationen

$$u(t) = K_a \left( r(t) - y(t) \right) = K_a e(t)$$

inses att en styrsignal på  $u(t)$  volt kräver att vi har ett fel på  $u(t)/K_a$  volt. För att inse detta kan vi anta att felet är 0. Detta ger att  $u(t) = 0$ . Då kommer vattnet rinna ut och därmed minskar nivån och felet växer. Vi kan således inte behålla felet 0!

*Prova med en annan nivå. Vad händer?*

**Referens:** ..... cm    **Vattennivå:** ..... cm    **Reglerfel:** ..... cm

*Öka nu  $K_a$ . Vad händer?*

**Svar:** .....

Från experimentet har vi fått följande erfarenhet. För att få ett litet reglerfel vill vi ha en kraftfull reaktion även på ett litet fel. Vi väljer därför ett stort värde på  $K_a$ .

*Vad händer med styrsignalen när värdet på  $K_a$  ökar?*

**Svar:** .....

## Slutsats:

När man skall välja förstärkningen i en P-regulator vill man sitta på två stolar samtidigt. Vi vill välja ett stort värde på förstärkningen för att få ett litet stationärt fel. Men som vi sett kan detta innebära stor förstärkning av mätbruset samt att en svängighet kan uppstå. Vi skall i efterföljande experiment försöka undvika de här begränsningarna hos regulatorn genom att modifiera den.

### 3.2.3 Experiment: PI-reglering

Om vi väljer ett värde på  $T_I$  som är begränsat realiserar datorn sambandet

$$u(t) = K_a \left( e(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^t e(\tau) d\tau \right) \quad (1)$$

*Minska nu  $K_a$  till ungefär 1 och välj  $0 < T_I < \infty$ , lämpligt värde på  $T_I$  är ungefär 15.*

Jämfört med den styrsignal som användes vid slutna styrning i experiment 3.2 (P-reglering) har vi alltså adderat en term som är proportionell mot tidsintegralen av felsignalen.

*Välj en av nivåerna från experiment 3.1. Sätt referenssignalen  $r(t)$  till det värdet. Vad är spänningen från I-delen när nivån stabiliserat sig? Du kan se vad I-delen bidrar med för spänning genom att välja "Show P-, I- and D-part" till "On".*

**Stationär nivå:** ..... cm.

**Spänning från I-delen:** ..... V.

*Jämför den spänning som du mätte upp på I-delen med de insignaler du mätte upp i experiment 3.1. Se till att ventilen till det extra utloppet är stängt!*

**Svar:**.....

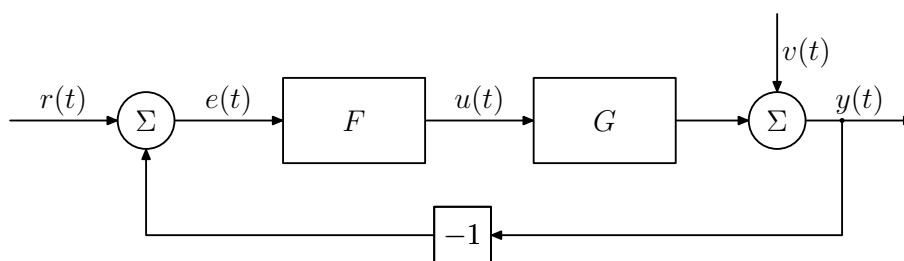
Orsaken till det resultat du nyss fick är att integralen fortsätter att öka (minska) ända tills dess att integralen av felet  $e(t)$ , dvs reglerfelet, är 0.

Du har nu undersökt hur reglersystemet klarar av att få utsignalen  $y(t)$  att följa referenssignalen  $r(t)$ . Detta problem brukar kallas för servoproblemet. Ett likartat problem är att hålla utsignalen konstant trots att olika störningar verkar på systemet. Detta brukar kallas för regulatorproblemet. Ett blockschema för regulatorproblemet finns återgivet i figur 5.

*Stör systemet genom att öka utflödet (öppna det extra utloppet). Vad händer?*

**Svar:** .....

I figur 5 representerar således  $v(t)$  det extra vatten som du släpper ut via det



Figur 5: Blockschema för regulatorproblemet.

extra utloppet.

Genom att modifiera regulatorstrukturen har vi alltså eliminerat det stationära reglerfelet fullständigt utan att få de problem som ett stort  $K_a$  gav oss.

*Studera återigen servoproblemet. Undersök om du kan få bra reglering genom att variera  $T_I$ . Testa speciellt vad som händer om du gör ett steg i referensvärdet. Vad har  $T_I$  för inverkan?*

**Svar:** .....

### Slutsats:

I-delen hanterar det statiska felet i ett återkopplat system. Tyvärr kan den minska stabiliteten hos systemet.

### 3.2.4 Experiment: PID-reglering

Nu skall vi studera den sista delen i en PID-regulator. För att få en förståelse för D-delen studeras först en PD-regulator, för att sedan sammanfatta allt till en komplett PID-regulator. En PD-regulator använder derivatan av felet på följande sätt

$$u(t) = K_a \left( e(t) + T_D \frac{de(t)}{dt} \right)$$

Med andra ord försöker vi prediktera felet genom att titta på lutningen hos felet. Detta kan ses ur att en första ordningens Taylorutveckling av felet  $T_D$  sekunder framåt är

$$e(t + T_D) \approx e(t) + T_D \frac{de(t)}{dt}$$

*Undersök hur  $T_D$  inverkar på stegsvaret. Se till att börja med små värden ( $T_D < 0.5$ )! Välj  $K_a$  till 1,  $T_I$  ska vara 'inf' och  $\alpha$  sätts till 0. Se även till att nollställa I-delen (Klicka på 'Reset integral'). Vad händer när  $T_D$  ökas?*

**Svar:**.....

För att förklara svaret på ovanstående fråga studeras hur mätsignalen  $y(t) = h_1(t)$  påverkas vid en derivering. Låt mätsignalen bestå av två komponenter, det sanna värdet  $y_s(t)$  samt mätbrus  $n(t)$  som beskrivs av en sinussignal.

$$y(t) = y_s(t) + n(t) = y_s(t) + a \sin \omega t$$

Då är D-delens bidrag till styrsignalen ( $T_D$  och  $K_a$  utelämnad)

$$\frac{dy(t)}{dt} = \frac{dy_s(t)}{dt} + a\omega \cos \omega t$$

Här inses att en ideal derivering kommer att förstärka högfrekvent mätbrus kraftigt. För att undvika denna förstärkning av brus (se även sidan 54-55 i kursboken) så utökas derivatadelen med ett lågpasfilter och då är deriveringen implementerad som

$$D(s) = \frac{T_D s}{\alpha T_D s + 1} E(s)$$

*Vad motsvarar ekvationen ovan (approximativt) då  $s$  är litet/stort?*

**Svar:**.....

Fundera över hur  $\alpha$  påverkar styrsignalen i ekvationen ovan? Vad gör ett stort respektive litet  $\alpha$ ?

**Svar:** .....

Med P-, I- och D-delen inkopplad ges ekvationen för regulatorn av

$$U(s) = K_a \left( 1 + \frac{1}{T_I s} + \frac{T_D s}{\alpha T_D s + 1} \right) E(s)$$

Ställ in  $K_a = 1$  och  $T_I = 15$ . Undersök vad som händer för  $(\alpha, T_D) = [(4, .5), (2, 1), (1, 2)]$ . Vad händer med överslängen då  $T_D$  och  $\alpha$  ändras?

**Svar:** .....

Återställ till de värden på  $K_a$  och  $T_I$  som gav bra reglering i experiment 3.2.3. Undersök om du kan få bra reglering genom att variera  $T_D$  och  $\alpha$ . Testa speciellt om  $K_a$  och  $T_I$  kan ökas respektive minskas då vi inför en deriverande del. Lämpligt värde på  $T_D$  och  $\alpha$  är ungefär 2 respektive 1. Hur ändras mätbrusets inverkan då  $T_D$  och  $\alpha$  ändras?

**Svar:** .....

### Slutsats:

D-delen dämpar insvängningsförloppet. Tyvärr kan den ge förstärkning av bruset som dock kan dämpas genom att införa en icke ideal derivering.

### Sammanfattning

Sammanfatta de olika delarnas uppgift i en PID-regulator.

P: .....

I: .....

D: .....

## 4 Nivåreglering av dubbeltankar.

Nu skall vi reglera ett lite svårare system. Koppla in den undre tanken genom att ändra den högra omkopplaren till sitt undre läge. Nu har vi två stycken tankar kopplade i serie där den övre tankens utlopp rinner in i den undre och det är den undre tankens nivå vi vill styra.

*Försök nu att hitta en PID-regulator som har en stigtid under 5 s och med en översläng under 10%. Kraven är satta för ett steg från nivån 10 cm med en amplitud på 1 cm.*

PID-regulator				Stigtid	Översläng
$K_a =$	$T_I =$	$T_D =$	$\alpha =$		
$K_a =$	$T_I =$	$T_D =$	$\alpha =$		
$K_a =$	$T_I =$	$T_D =$	$\alpha =$		
$K_a =$	$T_I =$	$T_D =$	$\alpha =$		
$K_a =$	$T_I =$	$T_D =$	$\alpha =$		

Som du kanske märker är det ganska svårt att bara testa sig fram till en regulator som ska klara vissa specifikationer. Vi ska i laboration 2 se hur man med hjälp av en modellbaserad regulatordesign kan uppfylla dessa krav.

# A Förberedelseuppgifter

## A.1 Inledning

Syftet med dessa uppgifter är att förbereda för denna laboration som handlar om nivåreglering av en vattentank. Uppgifterna ska vara väl genomarbetade och lab-PM genomläst innan laborationen påbörjas.

## A.2 Öppen styrning

I den första delen av laborationen studeras öppen (direkt) styrning. Med en styrspak generas en spänning. Styrspaken är kopplad till en vattenspump som pumpar in vatten i tanken. Nivån i tanken mäts och omvandlas till en spänning. I labben kopplas styrspaken och tanken samman via en dator för att få de uppmätta signalerna presenterade på ett överskådligt sätt.

- 1 En skiss över processen kan ses i figur 1. Styrspaken är kopplad direkt till pumpen. Rita sambanden som ett blockschema. Vilka fysikaliska storheter är in- och utsignal för respektive block?
- 2 Antag att pumpen kan beskrivas som ett statiskt system, vilket innebär att flödet in i tanken förändras momentant vid en ändring av spänningen in till pumpen, dvs

$$q(t) = K_{pump} \cdot u(t)$$

Vad är överföringsfunktionen från spänning till flöde? Vad har den för dimension?

- 3 Sambandet mellan inflöde och nivå i den översta tanken kan approximativt beskrivas med differentialekvationen

$$A\dot{h}_1(t) = q(t) - ch_1(t)$$

där  $A$  betecknar tankens bottenarea, och konstanten  $c$ , bland annat, beror av utloppshålets area. Se Exempel 2.2, 2.4 och 2.7 i läroboken. Vad är överföringsfunktionen för tanken, d v s från inflöde till nivå?

- 4 Antag att styrspakens läge (styrsignalen,  $u(t)$ ) ändras momentant från noll till ett positivt värde. Vad blir laplacetransformen för den resulterande nivån?

- 5 Använd resultatet i Uppgift 2-4 för att skissa det principiella utseendet hos vattennivån, som funktion av tiden, vid en förändring av styrspåkens läge.

### A.3 Återkopplad styrning

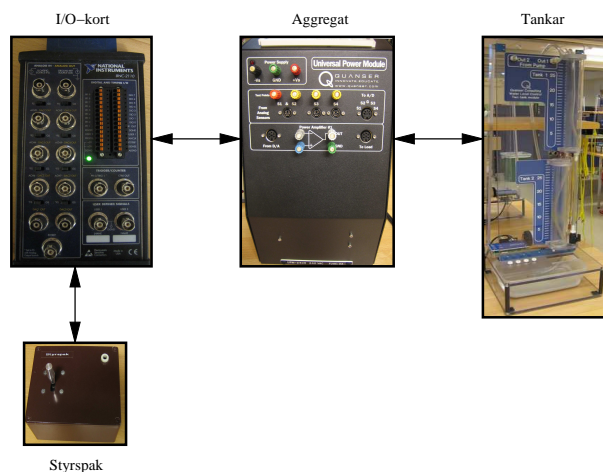
Datorn används för att åstadkomma PID-regleringen. Vi mäter tanknivån för den övre tanken och datorn genererar styrsignalen  $u(t)$  till pumpen via styr- och mätkortet, d v s åstadkommer i princip funktionen

$$e(t) = r(t) - h_1(t)$$
$$u(t) = K_a \left( e(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_D \frac{de(t)}{dt} \right)$$

- 6 Rita ett blockschema över systemet när det är återkopplat. Låt datorn, spänningsaggregatet och styr- och mätkortet representeras av ett enda block i blockschemat (referenssignalen kan ses som en insignal till datorn). Vilka fysikaliska storheter är in- och utsignal för respektive block?
- 7 Antag att datorn agerar som en proportionell regulator, d v s genererar en spänning som är proportionell mot skillnaden mellan önskad nivå och verklig nivå. Antag också att referenssignalen ( $r(t)$ ) ändras momentant från noll till ett positivt värde. Vad blir laplacetransformen för den resulterande nivån?  
**Tips:** Använd resultatet från Uppgift 3 ovan.
- 8 Använd resultatet i Uppgift 7 för avgöra om utsignalen kommer att ställa in sig på ett konstant värde och bestäm i så fall detta värde.

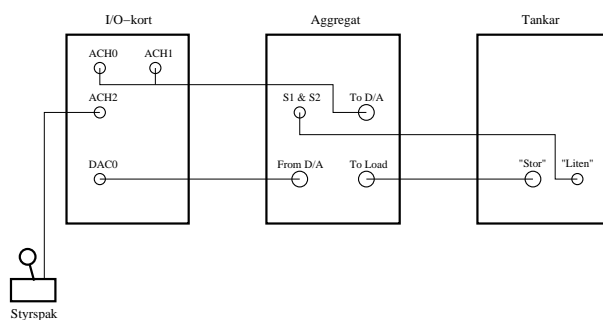
## B Kopplingsbeskrivning

Nedan beskrivs hur utrustningen till laborationen kopplas upp. Observera att denna koppling finns redan från start och ingen omkoppling behövs göras. I figur 6 visas det övergripande schemat för dubbeltanksystemet. I/O-kortet distribuerar vidare signalerna till datorn där all behandling av data sker.



Figur 6: Övergripande signalvägar

Figur 7 visar kopplingschema för laborationen. Samtliga kablar är unika så det finns inga likadana kablar som kan förväxlas. Kabeln som går från *ACH0* och *ACH1* till *To D/A* är Y-kopplad, dvs den är uppdelad i två kontakter i ena änden. Notera även att styrspaken behöver en spänningsmatning.



Figur 7: Schema för uppkoppling av dubbeltankar och styrspak.