

Laboration 1 – Dynamiska System och Reglerteknik

PID-reglering grund – 2 timmar

Syfte

Laborationens syfte är att studera vissa grundläggande egenskaper hos återkopplade system, samt att genom experiment på ett praktiskt reglersystem visa hur en PID-regulator fungerar. Speciellt kommer följande saker att studeras:

- Hur fungerar en P-regulator? Vilka egenskaper (stabilitet, kvarstående fel mm) har ett system som regleras med en P-regulator? Hur påverkas egenskaperna av förstärkningen i regulatören?
- Hur fungerar en PI-regulator? Vilka egenskaper har ett system som regleras med en PI-regulator? Vilken inverkan har integrationstiden?
- Vilken inverkan har en dödtid på egenskaperna hos ett reglersystem?
- Hur ställer man in en PID-regulator med Ziegler-Nichols tumregelmetod?

OBS ! Innan laborationen skall detta häfte vara noggrant genomläst.

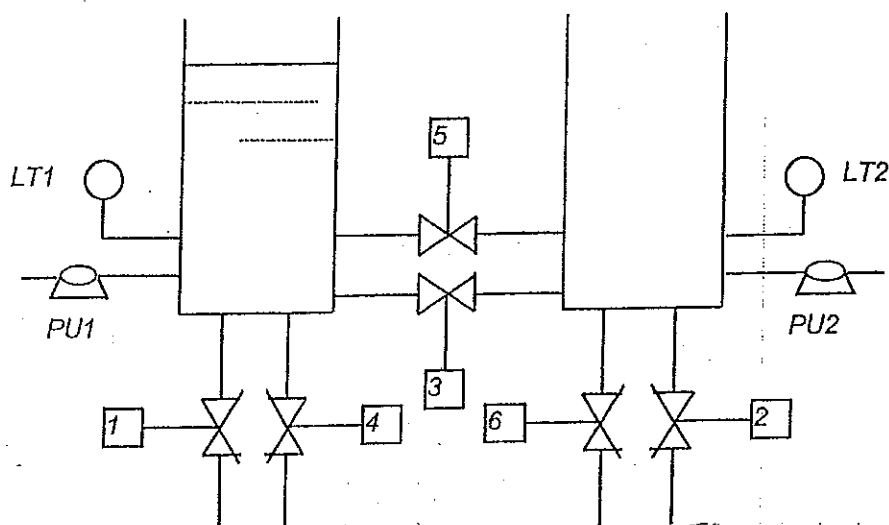
Introduktion:

Processen som ska regleras utgörs av en dubbeltank enligt figuren på nästa sida. I denna laboration skall dock endast den **vänstra tanken** användas. Tanken har ett inflöde och två utflöden. Inflödet (i botten av tanken) bestäms av en elektrisk pump som är placerad på baksidan av skärmen. Varvtalet på pumpen styrs av en elektrisk signal från PID-enheten. Tanken har också ett överströmningsrör som träder i funktion då tanken är full. Regulatorns uppgift är att se till att vattennivån i tanken hålls så nära som möjligt det börvärde som man ställer in. Den skall kompensera för störningar i form av varierande utflöde och klara av att följa ändringar i börvärdet. Systemet består dessutom av följande delar:

Nivågivare för mätning av vattennivån i tanken. Givaren är av piezoelektrisk typ och ger som utsignal en elektrisk spänning som är proportionell mot den aktuella nivån i tanken. Aktuell nivå indikeras på en av skalorna överst på PID-enheten.

PID-enhet. Innehåller själva PID-regulatorens samt rattar för att ställa in PID-parametrar och omkopplare om man skulle vilja styra processen manuellt. Överst på PID-enheten finns tre skalor som visar aktuellt börvärde, aktuell styrsignal och aktuell nivå.

Figuren på nästa sida visar processens uppbyggnad:



1, 2, 3

Magnetventiler. (Tvålägesventiler som kan öppnas eller stängas med elektriska signaler. De är normalt stängda. Dessa ventiler används inte i laborationen)

4, 5, 6

Handmanövrerade ventiler. (Dessa ventiler styrs för hand och kan också ställas i halvöppet läge)

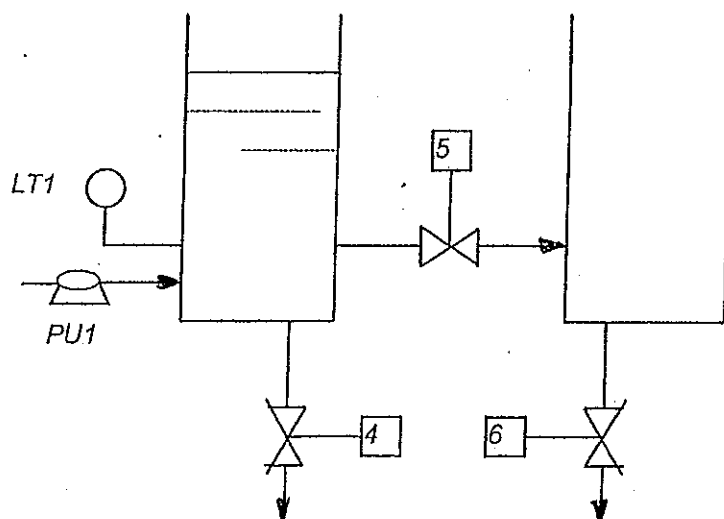
LT1, LT2

Nivågivare. (Level transmitter). I laborationen används endast LT1.

PU1, PU2

Pumpar som styr inflödet till de båda tankarna. (I laborationen används endast pump 1)

Figuren nedan visar den delen av processen som används i laborationen. Låt ventil 6 vara öppen hela laborationen.



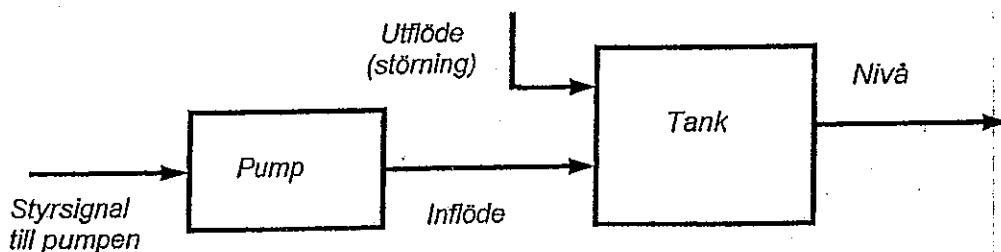
1. Bekanta dig med processen

I denna uppgift skall PID-regulatorn inte vara inkopplad, dvs styrsignalen till pumpen skall styras manuellt. Ställ därför omkopplaren på PID-enheten i läge manuell (MAN). Stäng ventil 4 och 5. Låt ventil 6 vara öppen hela tiden. Vrid gärna fram tanksystemet från dess plats i hörnet på bänken så att du ser ordentligt.

Fyll tanken (tank 1) med vatten genom att ge signal till pump 1 med styrsignalratten. Observera samtidigt att aktuellt värde på styrsignalen indikeras längst upp till höger på PID-panelen. När tanken är full kan du sätta ned styrsignalen till noll igen. Undersök följande:

- a) Hur lång tid tar det att tömma den fyllda tanken om endast ventil 4 är öppen ?
- b) Hur lång tid tar det att fylla tanken då båda ventilerna (4 och 5) är stängda och du ger max styrsignal till pumpen ?
- c) Hur lång tid tar det att tömma tanken då både ventil 4 och 5 öppnas helt ?.....
- d) Hur lång tid tar det att fylla tanken om den ena ventilen (ventil 4) är öppen, medan den andra är stängd ?

Processen (tank nr 1) kan schematiskt beskrivas med nedanstående blockschema. Vattennivån är den variabel som skall regleras. Processens styrsignal är den elektriska spänningen till pumpen, som sedan "omvandlas" till ett motsvarande inflöde. Störningar förekommer i form av varierande utflöde.



2 Manuell styrning mm

Manuell reglering utan störningar

Vi ska nu undersöka hur bra du är på att reglera processen för hand. (Du själv ska fungera både som givare, jämförare och regulator. Med ögonen observerar du nivån och med handen ändrar du på ratten för inflödet till processen)

Låt ventil 4 vara öppen, men ventil 5 stängd. Försök att manuellt styra processen så att nivån håller sig så nära 40 cm (dvs 50%) som möjligt.

Går det bra att stabilisera nivån på ca 50 % ?.....

Går det bra att manuellt stabilisera nivån på andra värden (t ex 20% och 80%) ?

Bestäm ungefär vilken insignal (styrsignal) som krävs stationärt för att hålla nivån på 30%, resp 70% av full tank. (avläses på styrsignalindikatorn på PID-panelen)

30%..... 70%.....

Varför krävs det en större styrsignal stationärt för att hålla en högre nivå?

.....
.....

Manuell reglering med störningar

Låt nu din kamrat störa processen genom att på ett slumpmässigt sätt öppna och stänga de båda ventilerna 4 och 5. **Titta enbart på nivån - inte på hur din kamrat ändrar ventilernas lägen.** Hur bra klarar du nu att hålla nivån i närheten av 50 %? (Låt alla deltagare i gruppen försöka reglera processen manuellt på detta sätt)

Gick det bra eller dåligt att hålla önskad nivå. Kommentera detta här:

.....

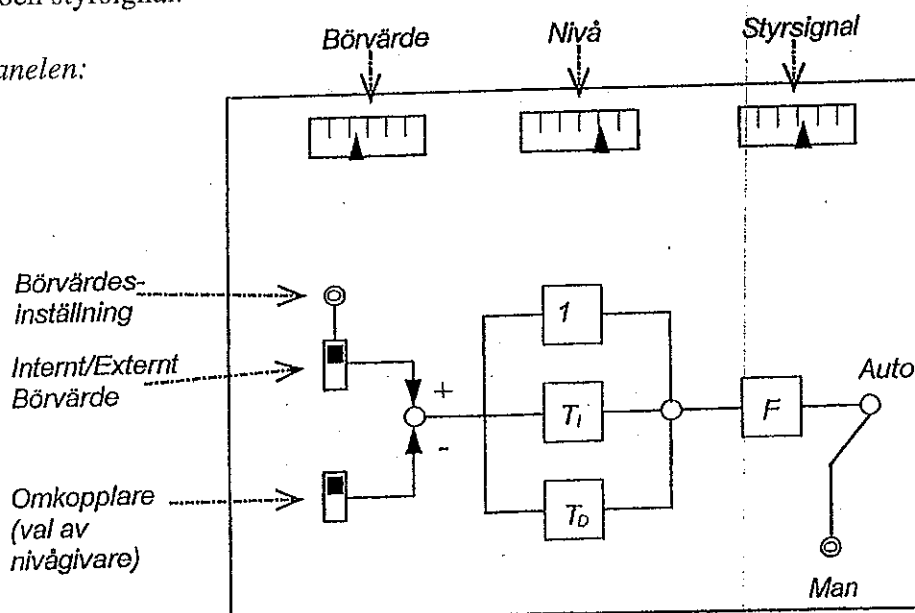
<i>Kommentar: Förmodligen gick det någorlunda bra att reglera nivån manuellt i detta fall eftersom det är en ganska "snäll" process utan dödtid. (längre fram ska vi göra om försöket med en dödtid mellan styrsignal och pump vilket är svårare).</i>
--

3 Proportionell reglering.

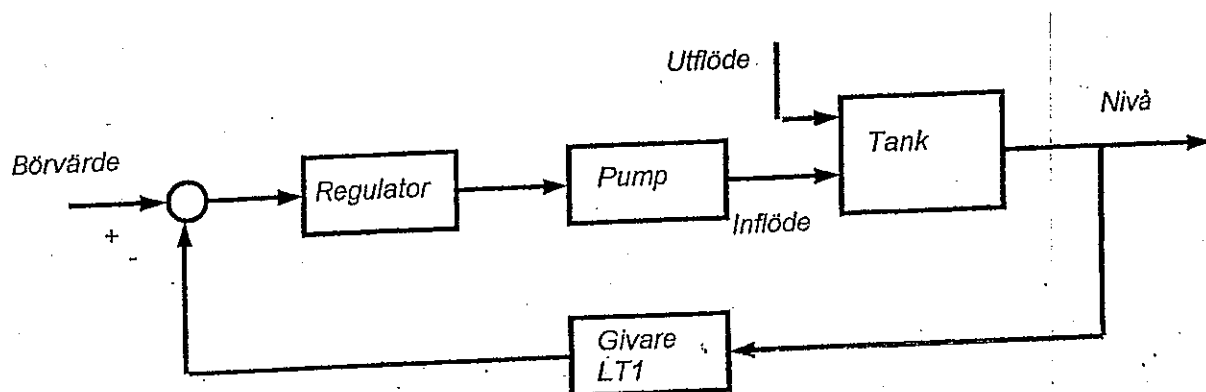
I denna uppgift skall vi reglera processen automatiskt med en P-regulator. Studera först panelen på PID-enheten och lär dig vilka knappar som finns på den.

- Till vänster på panelen finns en ratt för inställning av börvärde samt två omkopplare. Den ena omkopplaren används för att tala om vilken nivågivare (LT1 eller LT2) som för tillfället skall vara inkopplad till regulatort. Den andra används för att ställa om mellan internt och externt börvärde. (I denna laboration används endast nivågivare LT1 och internt börvärde).
- På mitten av PID-panelen finns tre rattar för inställning av önskade PID-parametrar, dvs förstärkning F , integrationstid T_i och derivatitid T_d , se figur. Högst upp på PID-panelen finns som tidigare nämnts tre skalor för avläsning av börvärde, nivå och styrsignal.

Figur över PID-panelen:



Vi ska börja med att studera hur regleringen fungerar med en ren P-regulator. Då regulatort är inkopplad kan systemet beskrivas med nedanstående blockschema:



Kvarstående fel

Ställ in regulatorn som en ren P-regulator, dvs koppla bort I-verkan och D-verkan (läge OFF). Börja med ett lågt värde på förstärkningen F, t ex $F=3$. Ställ in börvärdet på 50% (SET VALUE = 50 på börvärdesskalan). Låt ventil 4 vara öppen, medan ventil 5 är stängd. Ställ in läget AUTO på omkopplaren Auto/Manuell.

Hur fungerar regleringen?.....

Enligt teorin skall vi nu få ett **kvarstående fel** eftersom varken regulatorn eller processen innehåller integration. Nivån skall alltså **inte** stabilisera sig på det önskade börvärdet, utan på en lägre nivå.

Bestäm storleken på det kvarstående felet då nedanstående två värden används på förstärkningen F. (Det kvarstående felet är skillnaden mellan SET VALUE och MEASURED VALUE på skalorna högst upp)

Förstärkning	Kvarstående fel
1,5	
5	

Vilken slutsats kan vi dra av ovanstående försök?.....

.....

Studium av stegsvar, stabilitet mm

Ställ in förstärkningen $F=5$ och börvärdet 40%. Gör därefter en börvärdesändring från 40% till 60%. Bortse från de kvarstående felen.

Kunde du se någon översväng på stegsvaret (nivån)? Hur stor ungefär (%)?

.....

Blir det någon översväng vid börvärdesändringar om du gör samma försök men ändrar förstärkningen till $F=15$, resp $F=30$? I vilket fall blir översvängen störst?

.....

55-58

Från teorin (se t ex exemplet på sid ~~52-53~~ i Modern Reglerteknik) vet vi att ett reglersystem med P-reglering normalt blir instabilt om förstärkningen F är för hög.

Instabiliteten innebär i detta fall att både styrsignalen och utsignalen uppvisar oupphörliga och kraftiga svängningar som inte avtar i amplitud. Se rutan nedan.

Vid vilket värde på förstärkningen blir systemet instabilt?

Mät upp periodtiden på självsvängningarna (med egen klocka)

Observera

Det kan vara svårt att exakt bedöma när processen övergår från att vara stabil till att bli instabil. Om svängningarna är så små att styrsignalen inte "slår i taket" åt något håll så är systemet **inte** instabilt. Det är instabilt först när svängningarna är så stora att styrsignalen (pumpvarvtalet) gång på gång **slår i taket** eller i botten samtidigt som svängningarna inte minskar i storlek. Studera displayen med styrsignalen för att undersöka detta.

Ett alternativt sätt att bestämma stabilitetsgränsen är genom att börja med ett högt värde på förstärkningen och sedan minska till dess svängningarna avtar.

4 PI-reglering.

Kvarstående fel vid PI-reglering

Majoriteten av alla processer i processindustrin regleras med PI-regulatorer (eller PID-regulatorer där man satt ner derivataverkan till noll). Den främsta anledningen är att man då får en regulator som klarar både börvärdesändringar och stegstörningar utan kvarstående fel. Vi skall nu undersöka om detta stämmer. Ställ in en PI-regulator med förstärkningen $F = 10$ och integrationstiden $T_i = 7$. Ställ in börvärdet på 40% och låt utsignalen stabilisera sig. Ändra därefter börvärdet från 40 % till 70 %.

Hur fungerar regleringen nu vid börvärdesändringar? Blir det något kvarstående fel?.....

.....

Kommentar: Frånsett eventuella mindre avvikelser som kan bero dålig kalibrering hos börvärdesgivaren och/eller onoggrannhet hos nivågivaren skall det nu inte vara något kvarstående fel.

Stabilitet vid PI-reglering

Man kan visa att ett reglersystem med en PI-regulator kan bli instabilt på minst två sätt, dels genom att man väljer för hög förstärkning F , men också genom att man har för mycket integralverkan (d v s för litet värde på integrationstiden T_i). Vi ska undersöka om detta gäller även här. (Observera att en kort integrationstid är samma sak som kraftig integralverkan eftersom konstanten T_i är i nämnaren på integraldelen för en PI-regulator).

Ställ in förstärkningen på $F = 15$ och minska successivt på integrationstiden T_i . Vid vilket värde på integrationstiden T_i blir systemet instabilt?

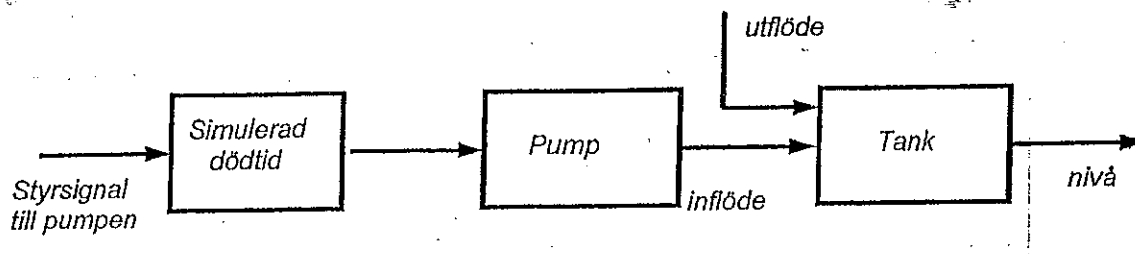
.....

Vilken periodtid får du nu på självsvängningarna?

5 Reglering av process med dödtid.

Som bekant är det mycket svårare att reglera processer med dödtid än processer utan dödtid. Detta beror på att processer med dödtid har en fördröjning från det att man ändrar styrsignalen till dess att denna förändring påverkar processen. (Hur skulle det vara att köra bil om det var 2 sekunders fördröjning mellan rattvridning och hjulvridning?)

Dödtid är ju inget som man egentligen vill ha på processer som ska regleras, men i vissa fall är det oundvikligt eftersom processerna ser ut som de gör. Den tankprocess som användes i laborationen har ingen egen dödtid, men med processinterfacet kan man åstadkomma en "konstgjord" dödtid (simulerad dödtid) på önskad storlek. Det innebär att processen får följande blockschema:



Manuell reglering vid process med dödtid.

Ställ regulatören i läge **manuell**. Ställ in en dödtid på 1,5 sekunder. Ändra därefter styrsignalen uppåt och nedåt några gånger. Observera att pumpen nu inte reagerar momentant på styrsignalförändringar, utan först efter 1,5 s. Gör därefter om delar av uppgift 2 och 3 i detta häfte, d v s gör följande:

Låt ventil 4 vara öppen och ventil 5 stängd. Försök nu att manuellt stabilisera nivån på olika värden, t ex 30 % och 70 %. Är det svårare eller lättare?

Kommentar

Låt nu din kamrat störa processen genom att på ett slumpmässigt sätt öppna och stänga de båda ventilerna 4 och 5. Hur bra klarar du nu att hålla nivån i närheten av 50 % (jämför med fallet utan dödtid)? **OBS! Titta bara på nivån, inte på hur din kamrat ändrar ventilernas lägen.**

.....

*) Man kan också simulera en extra tidskonstant (Time Constant) på en sekund mellan regulator och pump genom att välja **T.C.On**. Denna möjlighet används dock inte i denna laboration. Välj alltså **T.C.Off**.

P-reglering vid dödtid.

Vi ska studera hur bra regleringen blir vid P-reglering. Koppla därför bort I- och D-verkan (läge OFF) och ställ in ett lågt värde på förstärkningen i P-regulatorn, t ex $F = 2$. Ställ in börvärdet 50 %. Ställ om systemet till automatisk reglering (läge AUTO). Bry dig inte om de kvarstående fel som uppträder vid P-reglering.

Börja med värdet 2 på förstärkningen. Öka därefter F successivt och gör några mindre börvärdesändringar vid varje värde på förstärkningen. Vid vilken förstärkning blir systemet instabilt?

.....

Vilken slutsats kan dras av detta (jämför med P-reglering)?

.....

Hur lång är periodtiden på svängningarna i detta fall?.....

PI-reglering vid dödtid

Ställ in en PI-regulator med förstärkningen $F = 3$ och integrationstiden $T_i = 10$. Undersök hur regleringen fungerar vid mindre börvärdesändringar. Blir det någon översväng?

.....

Försök med ökad dödtid

Välj fortfarande förstärkningen $F=3$ och integrationstiden $T_i=10$. Undersök ifall regleringen fortfarande är stabil om du ökar dödtiden till 3 sekunder? (Stör processen med lite små börvärdesändringar och se om utsignalen börjar självsvänga).

.....

6 Ziegler-Nichols tumregelmetod.

Ställ in börvärdet på 60%. Koppla bort I- och D-verkan från regulatorn. Låt dödtiden vara 1,5 s. Starta med en låg förstärkning i regulatorn, t ex $F = 1,5$. **Ha en simulerad död tid på 1,5 s i processinterfacet.**

Öka nu förstärkningen successivt till dess att systemet kommer i självsvängning. Vid varje värde på förstärkningen gör du några mindre börvärdesändringar för att se om systemet kommer i självsvängning. Bestäm så noga som möjligt den förstärkning K_0 där systemet börjar självsvänga. Vilket värde får du på **den kritiska förstärkningen K_0** ?

$K_0 = \dots\dots\dots$

Observera

Det kan vara svårt att exakt bedöma när processen övergår från att vara stabil till att bli instabil. Om svängningarna är så små att styrsignalen inte "slår i taket" åt något håll så är systemet **inte** instabilt. Det är instabilt först när svängningarna är så stora att styrsignalen (pumpvarvtalet) gång på gång **slår i taket** eller i botten samtidigt som svängningarna inte minskar i storlek. Studera displayen med styrsignalen för att undersöka detta.

Ett alternativt sätt att bestämma stabilitetsgränsen är genom att börja med ett högt värde på förstärkningen och sedan minska till dess svängningarna avtar.

Vad blir periodtiden för självsvängningarna i detta fall?

$T_0 = \dots\dots\dots$

Kommentar

Periodtiden kan du bestämma genom att mäta tiden för 10 (eller 20) hela svängningar och sedan dividera denna tid med 10 (eller 20).

Nu kan du använda Ziegler-Nichols metod för att bestämma lämpliga PID-parametrar. Fyll i nedanstående tabell:

	K_R	T_I	T_D
P-regulator		—	—
PI-regulator			—
PID-regulator			

Ställ in PID-parametrarna enligt den inställning du fått fram ovan. Välj det närmast mindre inställbara värde för förstärkningen och derivatatiden, medan du väljer närmast större värde för integrationstiden.

$F = \dots\dots\dots$ $T_I = \dots\dots\dots$ $T_D = \dots\dots\dots$

Undersök hur bra regleringen fungerar med ovanstående inställning på PID-parametrarna. Notera t ex insvängningsförloppet vid stegformade störningar (här är det mest intressant att studera maxfelet) samt vid börvärdesändringar (studera t ex storleken på översvängen och kvarstående felet).

Kommentar.....

.....

Undersök nu om regleringen fortfarande fungerar bra ifall du ”plötsligt” ökar den simulerade dödtiden i systemet. Hur lång dödtid kan du ha innan systemet blir instabilt?

Svar:

Kommentar: Vanligen blir det ganska bra reglering med Ziegler-Nichols metod för just denna process, trots att Ziegler-Nichols metod bara är en ganska enkel ”tumregelmetod” för grovinställning av en regulator. Normalt kan man dock inte vara lika säker på att denna metod fungerar lika bra. Som framgår av kapitel 11 i boken Modern Reglerteknik finns det många mer exakta metoder som bygger på analys av Bodediagram mm.

Viktigt att komma ihåg:

Här är några saker som är **väldigt bra** att lägga på minnet efter denna laboration:

P-reglering

- Enbart P-reglering ger kvarstående fel (ökat värde på förstärkningen minskar dock det kvarstående felet).
- Ökad förstärkning K ger ökad snabbhet men försämrar stabilitet.
- Vid ett visst värde på förstärkningen K_0 blir systemet instabilt och börjar självsvänga. Svängningarna sker med en viss periodtid.

PI-reglering

- Integralverkan gör att de kvarstående felen elimineras.
- Vid PI-reglering kan ett system bli instabilt både genom att man har för hög förstärkning, men också om man har för kort integrationstid.
- Minskad integrationstid är samma som större andel integralverkan i regulatorn.

Processer med dödtid

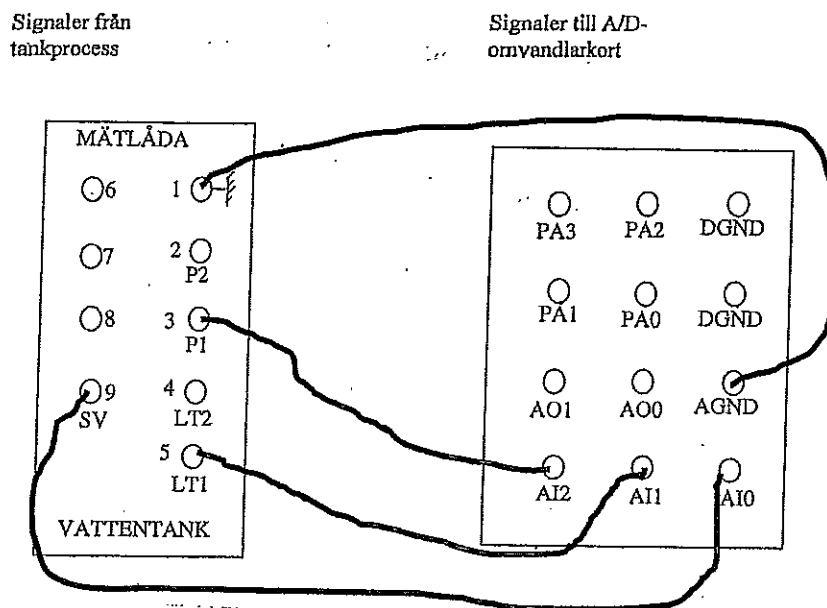
- Dödtider i processer gör att de blir svårare att reglera.
- Vid dödtid måste man ha låg förstärkning i regulatorn för att det inte ska bli instabilt.
- Periodtiden för svängningarna blir längre för processer med dödtid, jämfört med processer utan dödtid.

Inställning av PID-regulatorer

- Regulatorer kan grovinställas med Ziegler-Nichols metod.
- Ziegler-Nichols metod kräver inte att man har en matematisk modell (överföringsfunktion) för den process som ska regleras.

Registrering av signaler på datorn

Börvärdet, styrsignalen (till PU1) och utsignalen (från LT1) kan registreras i realtid på datorns bildskärm med hjälp av programmet **Simulink Desktop Real-Time** och **Simulink**. För att du ska kunna registrera dessa signaler måste du först koppla ihop nivåprocessen till datorns AD-omvandlarkort enligt nedanstående figur.



När du gjort klar kopplingen startar du mätprogrammet på datorn enligt följande:

1. Slå på datorn (Datorn är under bänken och startar med liten knapp högst upp på fronten). Uppstarten kan ta några minuter.
2. Logga in på eget konto. Starta därefter Matlab på datorn med kommandot:
Start>All Programs>Matlab2015a
3. Efter att Matlab startat upp öppnar du mätprogrammet. Programmet finns i dokumentarkivet på kursens hemsida på pingpong (kurskod LEU236). Hemsidan nås som vanligt via Chalmers Studentportal. Programmet startar direkt genom att dubbelklicka på programnamnet nedan i dokumentarkivet:
tanken_matning_R2015a_Simulink_Realttime_desktop.slx
4. Om du gjort rätt öppnas två nya fönster. I det mindre fönstret kan du ge kommandon för att starta och stoppa registreringen av signaler på skärmen. Du startar med menykommandot **Simulation>Run** alternativt med knappen  och stannar med knappen . I det större fönstret kan du följa börvärdet, utsignalen och styrsignalen i realtid under en körning. Följande gäller:
 - Utsignalen (tanknivån) är violett
 - Styrsignalen (spänningen till pumpen) är ljusgrön
 - Börvärdet är gult.

Registreringen pågår under 500 sekunder och stannar därefter. Det går dock att stoppa manuellt, pausa och starta om när som helst under en körning.