

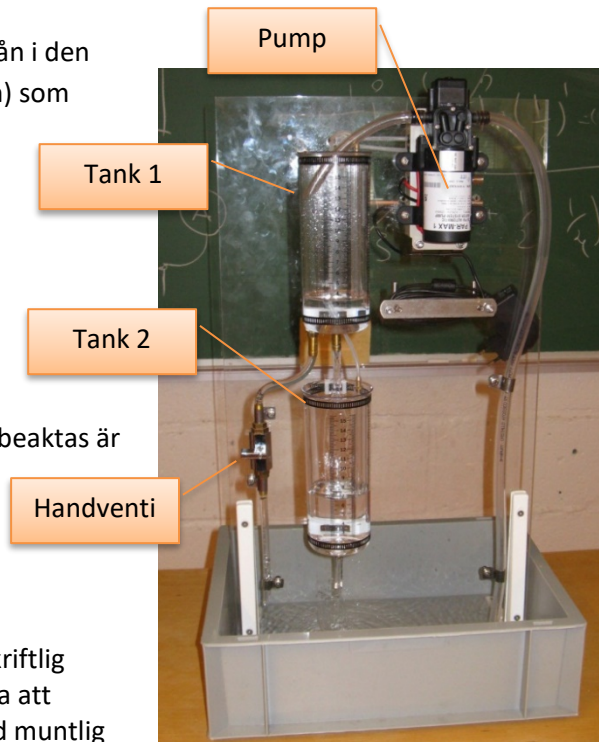
## R0001E Laboration 3

# PID-reglering av dubbeltankar

I denna laboration ska vi designa en regulator för nivån i den nedre tanken i den tankuppställning (eller simulatoren) som användes i laboration 1.

## Tankuppställningen

Se instruktionen till lab 1 för detaljer om labuppställningen (om du använder den). De signaler som ska användas i denna laboration är styrsignalen till pumpen ( $u$ ) samt mätningen av nivån i undre tanken ( $y$ ). De störningar som behöver beaktas är steg, i form av en öppning av handventilen, samt en mätstörning i form av brus på mätsignalen.



## Examination

Examinationen består av en demonstration och en skriftlig rapport. Under demonstrationen (15 min.) ska du visa att reglersystemet uppfyller specifikationerna nedan. Vid muntlig redovisning via Zoom krävs kamera och mick. Rapporten ska innehålla

- Processmodellen
- Design av regulatorn (val av designparametrar med motivering, Bodediagram för regulator och kretsöverföring samt slutna systemets stegsvar)
- Implementering av regulatorn
- Plottar i Simulink som visar att specifikationerna om snabbhet, stabilitet och styrsignalaktivitet är uppfyllda

Vid demonstrationstillfället ska du kunna svara på frågor om ovanstående punkter.

## Specifikationer

Regulatorn ska implementeras i Simulink. Reglersystemet ska

- styra nivån i den nedre tanken så att den följer ett börvärde som ändras i steg om upp till 2 cm inom intervallet 6 till 10 cm utan kvarstående fel
- vara implementerad tidsdiskret
- inte ge kvarstående fel vid konstanta störningar i form av en måttlig (<75%) kranöppning
- ge snabbt svar på börvärdesändringar med en stigtid på högst 20 s.
- ha god stabilitet, högst 30% översväng vid börvärdesändringar är tillåtet
- ha liten styrsignalaktivitet, ej mer än ca  $\pm 0.2$  Volt då nivån stabiliserat sig vid konstant börvärde
- inte ge en impuls i styrsignalen (dvs att styrsignalen ändras momentant i ett sampel och sedan återgår i nästa sampel) vid börvärdesändringar

- inte överfylla övre tanken vid uppstart (stora börvärdesändringar kan dock få leda till kortvarig överfyllnad)
- Börvärdet ska kunna anges i cm i ett block med namnet Börvärde.
- Plottning online av börvärde och nedre tanknivå i samma graf, med enheten cm. Plottning av styrsignalen i en annan graf. Tidsaxeln ska vara minst 300 sek lång i båda graferna.

## Arbetsgång: Iterativ design med metoden från Föreläsning 21

1. **Välj designparametrar** ( $\omega_c, \phi_m, K_\infty$ ) utifrån de ovan givna specifikationerna. *Tips:* Högfrekvensförstärkningen  $K_\infty$  är kvoten mellan styrsignalamplitud och mätsignalamplitud vid höga frekvenser (tex brus) och ska alltså väljas utifrån önskad styrsignalaktivitet. Överkorsningsfrekvensen  $\omega_c$  är relaterad till snabbhet, se Föreläsning 18 för ett samband mellan denna och stigtiden. Fasmarginalen  $\phi_m$  påverkar stabiliteten och kan väljas utifrån tumregel som ges i Föreläsning 20.
2. **Beräkna regulatorparametrar.** *Tips:* Implementera beräkningen i ett skript så att regulatorparametrarna kan beräknas med en knapptryckning när designparametrarna har valts. Kod för designalgoritmen från Föreläsning 21 finns i filen PIDdesign.m under Filer/Laborationer/Matlab. För att kolla om beräkningen blev korrekt, räkna fram kretsöverföringen GK och plotta dess Bode-diagram. Där ska den valda fasmarginalen och överkorsningsfrekvensen kunna avläsas. På samma sätt ska den valda högfrekvensförstärkningen kunna avläsas i en Bode-plot för GR.
3. **Implementera och testa regulatorn.** Om beteendet inte uppfyller specifikationerna, gå då tillbaka till punkt 1. *Tips:* En del av specifikationerna kan testas med Itiview. Räkna fram slutna systemets överföringsfunktion och plotta dess stegsvar för att kontrollera översväng och stigtid. Detta kan göras i samma skript som ovan. Annat, tex styrsignalaktivitet och att övre tanken inte överfylls vid uppstart, måste testas i simulering eller verklig drift.

## Ytterligare några tips

### Processmodell

Om man gör en fysikalisk processmodell och linjäriserar denna så blir nivåerna i de båda tankarna  $Y_1(s) = G_1(s)U(s)$  och  $Y(s) = G_{12}(s)Y_1(s)$  med överföringsfunktionerna

$$G_1(s) = \frac{K_1}{T_1s + 1}$$

$$G_{12}(s) = \frac{K_{12}}{T_2s + 1}$$

och processens hela överföringsfunktion från styrsignal till ärvärde blir då

$$G(s) = \frac{K}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)}$$

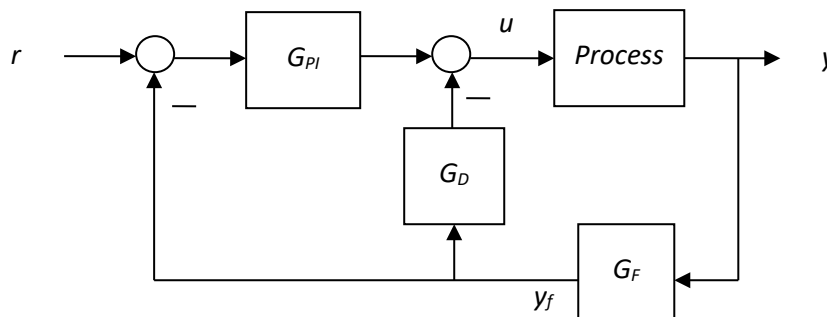
där  $K = K_1 K_{12}$ . Från lab 1 har du värden på  $T_1$ ,  $K_1$ , samt  $K$  där  $K \approx K_1$  så att  $K_{12} \approx 1$ . Om du gjorde den frivilliga extrauppgiften på Lab 1 så har du värden på alla tre parametrar i  $G(s)$ , i annat fall kan du anta att utloppshålen på de båda tankarna är lika vilket ger  $T_1 = T_2$ .

## Regulatorn

En PID-regulator är ett passande val i denna uppgift och en sådan kan formuleras på flera sätt. I denna uppgift är det lämpligt med uppdelningen  $G_R(s) = G_{PID}(s)G_F(s)$  där  $G_{PID}(s) = G_{PI}(s) + G_D(s)$  med

$$G_D(s) = kT_d s, G_{PI}(s) = k \left( 1 + \frac{1}{T_i s} \right), G_F(s) = \frac{1}{T_f s + 1}$$

Då kan PI- och D-delen implementeras enligt Bertil Thomas avsnitt 15.4 (se Föreläsning 5) och filtret som ett tidsdiskret filter (se nedan). För att undvika spikar i styrsignalen vid börvärdesändringar är det också en fördel att inte låta börvärdet gå genom derivatadelen och, av praktiska skäl, inte heller genom filtret. Slutna systemet blir då enligt nedanstående figur



## Filtret

En fördel med att dela upp regulatorn enligt ovan är att man då kan implementera filtret med ett kortare samplingsintervall och därmed få effektivare filtrering. Man kan med metoderna i avsnitt 15.4 visa att filtret  $Y_f(s) = \frac{1}{T_f s + 1} Y(s)$  kan approximeras tidsdiskret med differensekvationen

$$y_f(k) = \frac{h_f}{T_f + h_f} y(k) + \frac{T_f}{T_f + h_f} y_f(k-1)$$

där  $h_f$  är filtrets samplingsintervall.

## Simulink

- Det kan vara fördelaktigt att implementera regulatorn i två steg, först PID-delen och, när denna fungerar, lägga till filtret. PID-delen bör ha ett samplingsintervall på 1 sek. medan filtret kan använda sig av samma samplingsintervall som tankuppställningens utsignal, dvs 0.02 sek.
- Omvandling från ett samplingsintervall till ett annat görs med blocket Rate Transition i vilket man anger samplingsintervallet för utsignalen.
- Implementering av D- och I-delarna i regulatorn kan göras enligt Föreläsning 5 med hjälp av blocken Unit Delay, Gain och Sum. I Unit Delay måste man ange vilket samplingsintervall som beräkningen ska arbeta med.

- Rita det diskretiserade filtret i form av ett blockdiagram med ledning av exemplen på Föreläsning 5, för att kunna implementera det med blocken Unit Delay, Gain och Sum.
- Under det inledande förloppet kommer regulatorn troligen att vilja "bottna" styrsignalen, dvs den går upp till sin begränsning på 10 V. För att inte överfylla övre tanken under uppstarten kan man därför behöva ta till speciallösningar. Observera speciellt att integratorn bör vara avslagen under uppstarten. Om den inte är det kommer ett stort reglerfel att integreras under lång tid vilket kan ge problem länge efter att rätt nivå har uppnåtts. Detta fenomen kallas integratoruppvridning. Blocken Switch, Step och Clock är användbara för att åstadkomma speciallösningar under uppstart.