



LUNDS TEKNISKA
HÖGSKOLA
Lunds universitet

Institutionen för
REGLERTEKNIK

Tentamen i Systemteknik/Processreglering

23 maj 2012 kl 14–19

Poängberäkning och betygssättning

Tentamen omfattar totalt 20 poäng (Systemteknik) eller 25 poäng (Processreglering). Poängberäkningen finns markerad vid varje deluppgift. Preliminära betygsgränser:

Systemteknik:	Processreglering:
Betyg 3: 10 poäng	Betyg 3: 12 poäng
4: 14 poäng	4: 17 poäng
5: 17 poäng	5: 21 poäng

OBS! Lösningar och svar till alla uppgifter skall vara klart motiverade! Ett svar som helt saknar motivering ger noll poäng.

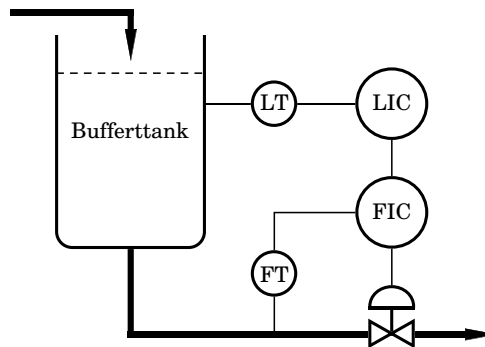
Tillåtna hjälpmedel

Matematiska tabeller (TEFYMA eller motsvarande), formelsamling i reglerteknik samt icke förprogrammerade räknare.

Tentamensresultat

Resultatlistor anslås senast måndagen den 4 juni på institutionens anslagstavla samt på kurshemsidorna. Visning sker måndagen den 4 juni kl 12:30–13:00 i Reglerteknik Lab C.

1. I figur 1 visas ett P/I-diagram för nivåreglering av en bufferttank som skyddar mot störningar uppströms i en tillverkningsprocess. Rita ett blockdiagram som illustrerar hur nivåregulatorn (LIC) och flödesregulatorn (FIC) samarbetar för att reglera processavsnittet. Vad kallas regulatorstrukturen? (2 p)



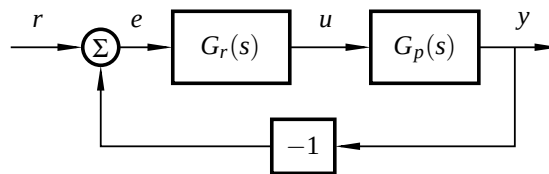
Figur 1 P/I-diagram för nivåreglering av bufferttank.

2. En process

$$G_p(s) = \frac{2}{3s + 1}$$

ska regleras med en PI-regulator med parametrarna $K = 3$, $T_i = 2$ enligt den enkla standardkretsen i figur 2.

- a. Beräkna det slutna systemets överföringsfunktion från r till e . Är det slutna systemet stabilt? (2 p)
- b. Antag att referensvärdet är en ramp, $r(t) = t$. Beräkna det stationära reglerfelet, om det existerar. (1 p)

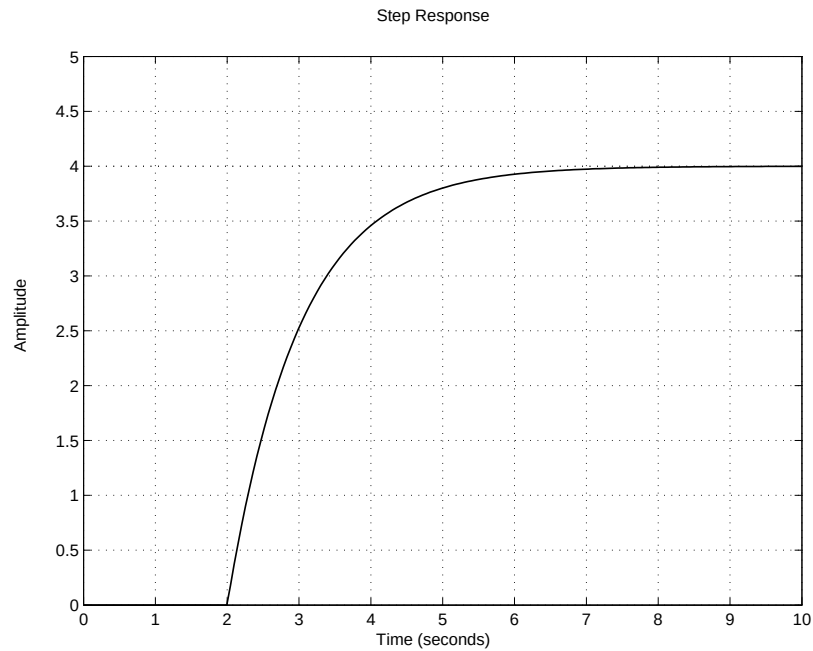


Figur 2 Den enkla standardkretsen.

3. Stegsvaret för ett linjärt system visas i figur 3. Insignalen är ett enhetssteg vid tiden noll.
- a. Ange systemets överföringsfunktion $G(s)$. (2 p)
- b. Ge ett exempel på någon verklig process som har detta principiella beteende. Rita en enkel skiss över processen där det framgår hur styrsignal och mätsignal är kopplade till processen. (1 p)
4. Charlotta vill bygga en kaffekokare, och efter lite funderande återstår bara att få vattenflödet genom börnorna precis rätt. Charlotta monterar en flödesmätare i filterhållaren och härleder följande dynamiska samband mellan inflödet q_{in} och utflödet q_{ut} :

$$\frac{dh}{dt} = -\gamma_1 h^{-1.5} + \gamma_2 h^{-2} q_{in}$$

$$q_{ut} = \frac{\gamma_1}{\gamma_2} h^{0.5}$$



Figur 3 Stegsvär för ett linjärt system.

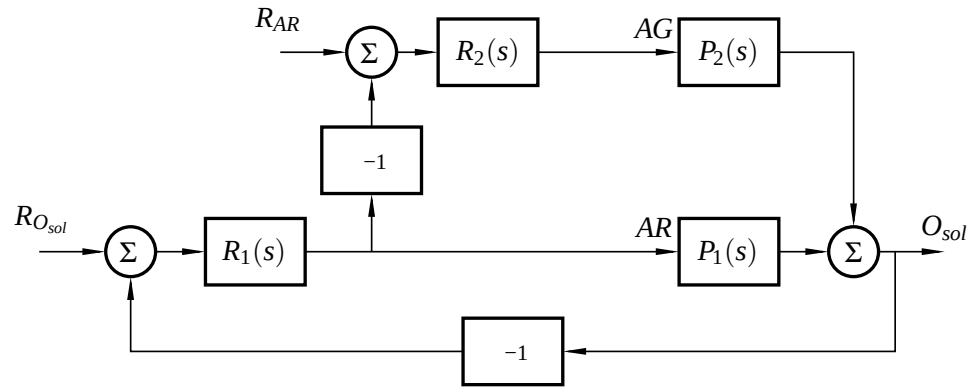
där h representerar vattenhöjden i filterhållaren, och γ_1 och γ_2 är processberoende konstanter.

- a. Bestäm den stationära höjden h^0 och det stationära utflödet q_{ut}^0 , givet det stationära inflödet q_{in}^0 . (1 p)
 - b. Antag $\gamma_1 = 0.2$, $\gamma_2 = 0.3$ och linjärisera flödesdynamiken kring den stationära punkt som ges av $q_{in}^0 = 0.5$. Ställ upp det resulterande systemet på tillståndsform. (2 p)
5. Kylvattentemperaturen in till en fabrik varierar som en sinus med amplituden 3°C och periodtiden 24 timmar. Fabriken påverkan på kylvattnet kan beskrivas enligt

$$T_{ut}(s) = \frac{2}{(s+1)(s+2)} T_{in}(s)$$

där $T_{in}(s)$ är Laplacetransformen av temperaturen på det ingående kylvattnet och $T_{ut}(s)$ är Laplacetransformen av temperaturen på kylvattnet ut från fabriken. Tiden i modellen mäts i timmar.

- a. Vilka är processens tidskonstanter? (1 p)
 - b. Beräkna hur kylvattentemperaturen ut från fabriken varierar. (2 p)
6. Efter examen har du blivit anställd som processingenjör på ett ledande företag inom bioprocessindustrin, där du har fått till uppgift att utforma ett styrsystem för syrehalten i en fermentationstank för bakterieodling. Processen har en mätsignal, syrehalten O_{sol} , och två styrsignaler, omrörarhastigheten AG och luftflödet AR . Enligt den modell av systemet du tagit fram kan effekten av insignalerna beskrivas med linjär dynamik oberoende av varandra, så för bästa prestanda vill du använda mitthållning (*mid-ranging control*), en regulatorstruktur som ser ut enligt figur 4.



Figur 4 Regulatorstruktur för mitthållning.

Som en del i den systemidentifiering du utfört på systemet har du tagit fram överföringsfunktionerna $P_1(s)$ och $P_2(s)$:

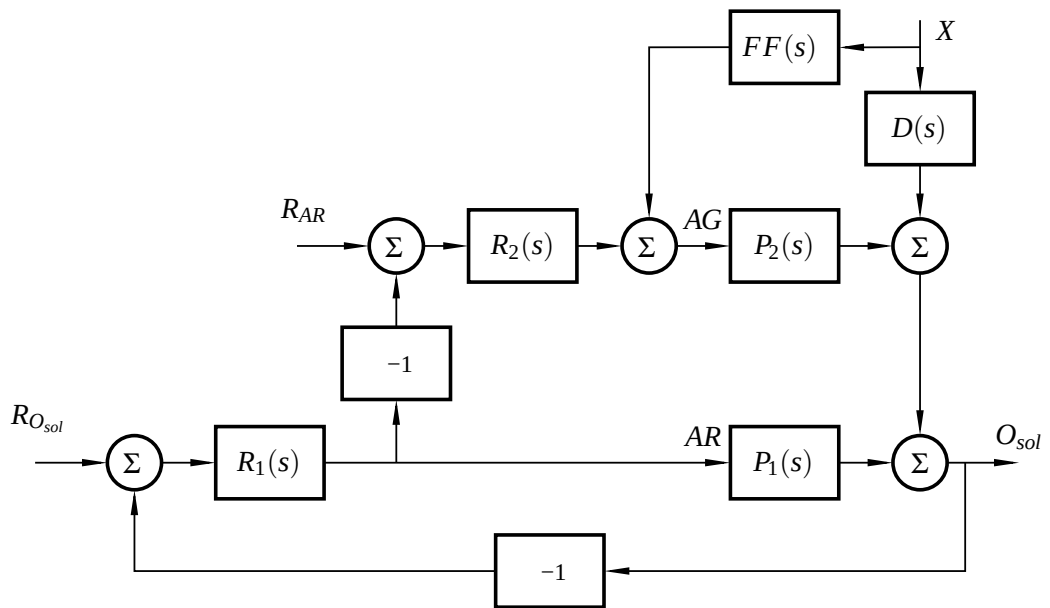
$$P_1(s) = \frac{2}{1 + 2s}$$

$$P_2(s) = \frac{5}{1 + 20s}$$

- Förklara varför strukturen i figur 4 är bättre än motsvarande struktur om $P_1(s)$ och $P_2(s)$ hade bytt plats. Du kan anta att styrsignalerna AG och AR mätas vid samma värden. (1 p)
- För att styra systemet väljer du att använda en P-regulator som $R_1(s)$ och en PI-regulator som $R_2(s)$. Ta fram det slutna systemets överföringsfunktion från $R_{O_{sol}}$ till O_{sol} (som en funktion av regulatorparametrarna K_1 , K_2 och T_{i_2}). Beräkna även det slutna systemets statiska förstärkning (under antagandet att systemet är stabilt). Är svaret det önskade? (3 p)
- Bakteriernas konsumtion av syre kan ses som en laststörning på systemet, där biomasan X påverkan på O_{sol} kan beskrivas med en överföringsfunktion $D(s)$:

$$D(s) = \frac{1}{1 + 4s} e^{-4s}$$

Du har fått tillgång till avancerad mätutrustning som möjliggör uppskattning av bakteriernas totala biomassa, och med hjälp av denna vill du nu skapa en framkoppling som eliminerar inverkan av denna störning (se figur 5). Utforma framkopplingsfiltret $FF(s)$ som krävs för att uppnå detta. Är denna styrning implementerbar? (2 p)



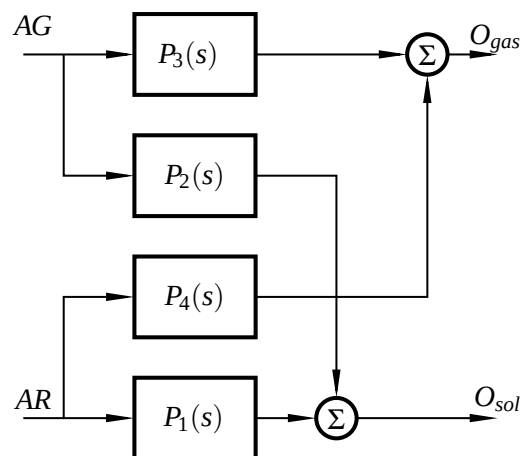
Figur 5 Mitthållning med framkoppling från störningen X .

d. Endast för Processreglering

Efter flertalet praktiska försök med systemet visar det sig att modellen inte stämmer med verkligheten. Fortsatta undersökningar visar att modellen endast är korrekt när syrekoncentrationen i gasfasen, O_{gas} , ligger inom ett visst intervall och denna måste därför också regleras. Du tar fram uttryck för hur O_{gas} påverkas av AG och AR och det modifierade processchemat (utan regulator) ser ut enligt figur 6. Överföringsfunktionerna $P_3(s)$ och $P_4(s)$ är som följer:

$$P_3(s) = \frac{2}{1 + 12s}$$

$$P_4(s) = \frac{1}{1 + 8s}$$



Figur 6 Det modifierade processchemat.

Ange processens överföringsmatris $G(s) = \begin{bmatrix} G_{11}(s) & G_{12}(s) \\ G_{21}(s) & G_{22}(s) \end{bmatrix}$, så att

$$\begin{bmatrix} O_{gas} \\ O_{sol} \end{bmatrix} = G(s) \begin{bmatrix} AG \\ AR \end{bmatrix}$$

Beräkna sedan en särkopplingsmatris

$$A(s) = \begin{bmatrix} 1 & -\frac{G_{12}(s)}{G_{11}(s)} \\ -\frac{G_{21}(s)}{G_{22}(s)} & 1 \end{bmatrix}$$

som gör att systemet $T(s) = G(s)A(s)$ blir diagonalt och därmed kan betraktas som två separata system med vars en insignal och utsignal. Beräkna till sist $T(s)$ för att visa att särkopplingen uppfyller sitt syfte. (2 p)

7. Endast för Processreglering

Vid användning av en regulator med derivatadel finns det klara fördelar med att använda ett filter för derivatadelen, såsom att dess bruskänslighet kan minskas. En derivatadel med filter kan beskrivas enligt

$$D(s) = -\frac{KT_d s}{1 + sT_d/N} Y(s)$$

- a. Diskretisera derivatadelen, dels med bakåt- och dels med framåtapproximering. Antag att samplingsintervallet är h . (2 p)
- b. Skulle båda diskretiseringarna gå att implementera i praktiken om filtret togs bort, d.v.s. om derivatadelen såg ut enligt

$$D(s) = -KT_d s Y(s)$$

(1 p)