



LUNDS TEKNISKA
HÖGSKOLA
Lunds universitet

Institutionen för
REGLERTEKNIK

Tentamen i Systemteknik/Processreglering

27 maj 2011 kl 14–19

Poängberäkning och betygssättning

Lösningar och svar till alla uppgifter skall vara klart motiverade. Tentamen omfattar sju uppgifter om totalt 20 poäng (Systemteknik) eller nio uppgifter om totalt 25 poäng (Processreglering). Poängberäkningen finns markerad vid varje uppgift. Preliminära betygsgränser:

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

Tillåtna hjälpmedel

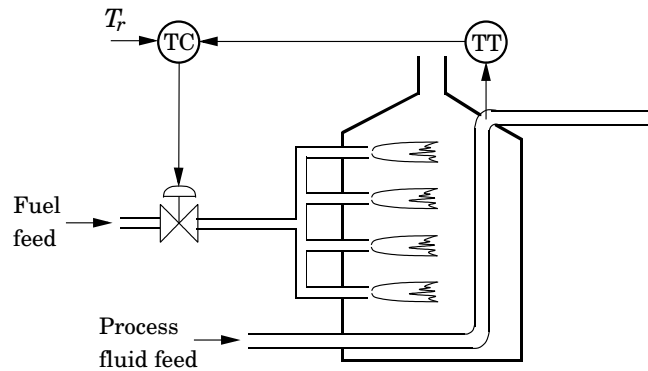
Matematiska tabeller (TEFYMA eller motsvarande), formelsamling i reglerteknik samt icke förprogrammerade räknare.

Tentamensresultat

Resultatlistor anslås senast fredagen den 10 juni på institutionens anslagstavla samt på kurs-hemsidorna. Visning sker måndagen den 13 juni kl 12:30–13:00 i Reglerteknik Lab C.

1. I figur 1 visas ett P/I-diagram för en förbränningsugn, där målet är att värma den genomströmmande processvätskan till en given temperatur T_r . Tyvärr har det visat sig att regleringen fungerar dåligt eftersom trycket i bränslematningen varierar och ventilen som styr bränsleflödet är kraftigt olinjär.

Namnge en lämplig regulatorstruktur för att åtgärda problemet och rita ett nytt P/I-diagram som illustrerar åtgärden. Förklara kortfattat varför regleringen bör bli bättre med den föreslagna regulatorstrukturen. (2 p)



Figur 1 P/I-diagram för en förbränningsugn.

2. Koncentrationsdynamiken hos ett compartmentsystem med två kammare beskrivs av det linjära systemet

$$\dot{c}_1 = -2c_1 + c_2 + u$$

$$\dot{c}_2 = c_1 - 2c_2$$

$$y = c_2$$

Beräkna systemets överföringsfunktion (från insignalen u till utsignalen y). Beräkna även systemets poler och nollställen. (2 p)

3. En linjär modell av tre seriekopplade vattentankar ges av överföringsfunktionen

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

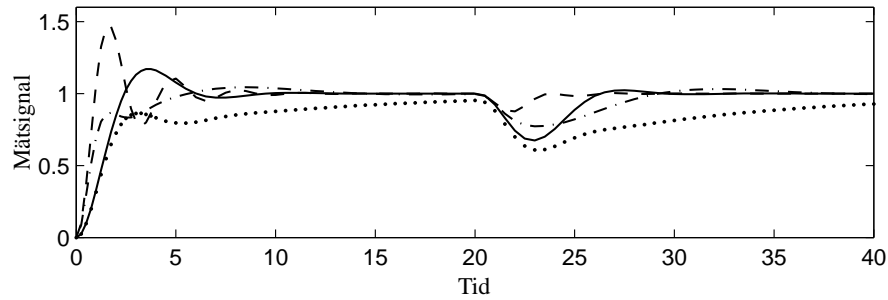
- a. Antag att vi reglerar processen med en PID-regulator med parametrarna $K = 2$, $T_i = 2$ och $T_d = 0.5$. Det simulerade svaret på en stegändring av börvärdet vid $t = 0$ och en laststörning vid $t = 20$ visas som den heldragna kurvan i figur 2. Para ihop de tre övriga kurvorna (streckad, prick-streckad och prickad) med följande tre förändringar av den ursprungliga regulatorinställningen:

- K fyrdubblas
- T_i fyrdubblas
- T_d fyrdubblas

(Inga räkningar behöver göras, men glöm inte att motivera alla svar!) (2 p)

- b. I simuleringen har D-delen i regulatorn beräknats enligt

$$D(t) = KT_d \frac{de(t)}{dt}$$



Figur 2 Svar på referensändring och laststörning då PID-parametrarna ändras i uppgift 3.

där $e = r - y$ är reglerfelet, d.v.s. skillnaden mellan börvärdet och ärvärdet. I praktiken inför man ofta en börvärdesviktning i D-delen, så att

$$D(t) = -KT_d \frac{dy(t)}{dt}$$

Förklara varför detta kan vara lämpligt. (1 p)

4. Populationsdynamiken hos två fiskarter ges av det olinjära systemet

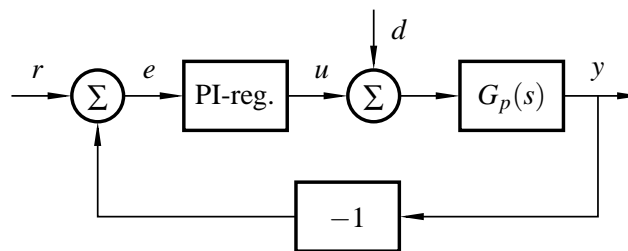
$$\dot{x}_1 = x_1(40 - x_1) - 2x_1x_2$$

$$\dot{x}_2 = x_1x_2 - 20x_2$$

- a. Systemet har tre stationära punkter (x_1^0, x_2^0) . Hitta dessa. (1 p)
- b. Linjärisera systemet kring en valfri punkt av dem du fann i a-uppgiften. (2 p)
5. Antag att vi nyttjar en PI-regulator för att reglera en första ordningens process enligt figur 3. I kretsen figurerar också en laststörning d som kommer in additivt på processens ingång. Processen ges av överföringsfunktionen

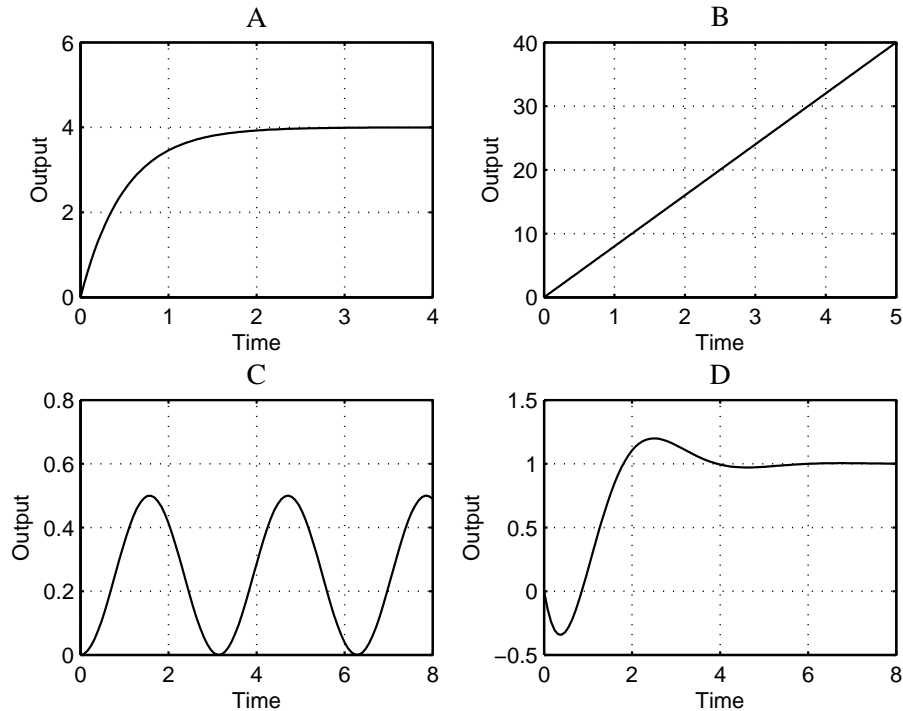
$$G_p(s) = \frac{4}{s+0.2}$$

- a. Bestäm regulatorparametrarna K och T_i så att det slutna systemets båda poler placeras i punkten -1 . (2 p)
- b. Antag att kretsen är i jämvikt när det kommer in en stegstörning, $d(t) = 1$. Beräkna och rita hur utsignalen $y(t)$ kommer att svara. Hur mycket kommer utsignalen som mest att avvika från börvärdet? (2 p)
- (Om du inte har löst a-uppgiften så kan du anta att $K = T_i = 0.95$)



Figur 3 Reglerkretsen i uppgift 5.

6. Figur 4 visar stegsvaren för fyra linjära system A–D. Ange vilken form respektive systems överföringsfunktion har. För första ordningens system ska den exakta överföringsfunktionen anges, med korrekta värden för alla koefficienter. (4 p)



Figur 4 Stegsvär för fyra olika linjära system.

7. Bodediagrammet för ett system $G_0(s)$ visas i figur 5. Avgör för varje påstående nedan om det är sant eller falskt. (Glöm inte att motivera alla svar!)
- Systemets fasmarginal är mindre än 60° . (0.5 p)
 - Om systemet regleras med en P-regulator med förstärkningen $K = 10$ så blir det slutna systemet instabilt. (0.5 p)
 - Om insignalen är $10 \sin(10t)$ så blir utsignalen ungefär $\sin(10t - 3.4)$. (0.5 p)
 - Systemets Nyquistkurva slutar i origo. (0.5 p)

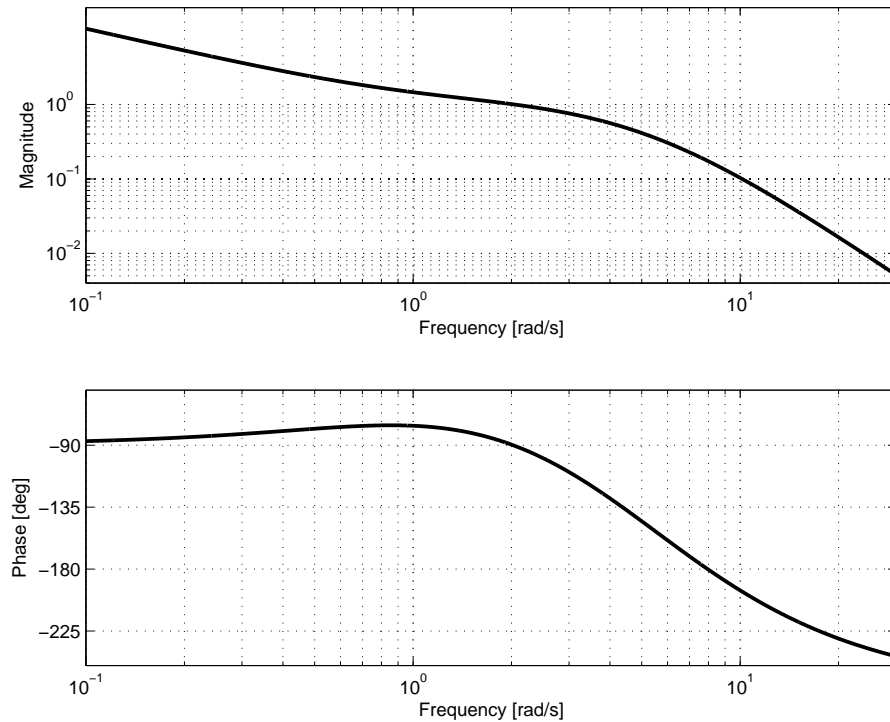
8. **Endast för Processreglering**

Olle tycker om paj. När han är hungrig brukar han göra blåbärspaj. En typisk dag i Olles liv ser ut så här:

Olle är hungrig. Då gör Olle ett pajskal. När detta är klart fyller han det med blåbär tills det inte får plats mer. Han gräddar pajen i ca 200 grader tills den fått fin färg. Han tar ut pajen och vispar upp lite grädde med vaniljsocker. Sen dröjer det inte länge innan pajen är uppäten. När Olle blir hungrig på nytt upprepas det hela.

I figur 6 ser vi ett GRAFCET-diagram över det beskrivna förloppet.

En dag inser Olle att han kan börja vispa grädden medan pajen står i ugnen. Han bestämmer sig för göra detta i fortsättningen. Dessutom vill Olle variera kosten och det händer nu att han gör rabarberpaj.



Figur 5 Bodediagrammet i uppgift 7.

Du ska nu modifiera GRAFCET-diagrammet så att det beskriver Olles nya vanor. Följande villkor ska uppfyllas:

- När pajskalet är klart (skal_klart sann) så lägger Olle antingen i rabarber (styrsignal lagg_rabarber) eller blåbär (styrsignal lagg_blabar) beroende på om signalen rabarber är sann eller inte.
- När Olle fyllt pajen med bär (paj_full sann) skall både gräddvispning (styrsignal vispa_gradde) och pajgräddning (styrsignal gradda_paj) påbörjas.
- Olle börjar inte äta förrän grädden är färdigvispad (gradde_posig sann) och pajen är färdiggräddad (paj_klar sann). Tänk på att pajen kan bli klar före grädden och vice versa.

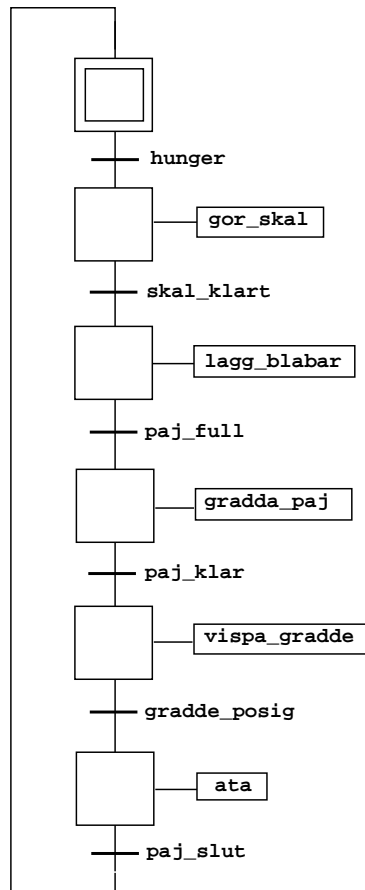
(2 p)

9. Endast för Processreglering

Efter examen har du tack vare dina kunskaper inom reglerteknik blivit anställd som processingenjör på ett ledande företag inom processindustrin. I den rollen ställs man ofta inför system med mer än en styrsignal och/eller mätsignal. Du har fått i uppgift att utarbeta en flervariabel regulator för ett system med två styr signaler (u_1, u_2) och två mätsignaler (y_1, y_2), vars överföringsmatris är känd och ser ut enligt

$$G(s) = \begin{pmatrix} \frac{s+1}{s+2} e^{-s} & \frac{1}{s+3} e^{-2s} \\ \frac{1}{s+1} e^{-s} & \frac{s-3}{s+3} e^{-2s} \end{pmatrix}$$

- a. Din första ansats är att använda två separata PI-regulatorer för att styra systemet. Innan du kan utforma själva regulatorerna måste du bestämma vilken mätsignal som bör



Figur 6 GRAFCET-diagram över en dag i Olles liv.

användas för återkoppling till vilken styrsignal. Ta fram systemets Relative Gain Array och motivera med hjälp av den hur kopplingen bör göras. Ett systems Relative Gain Array definieras enligt

$$\text{RGA}(G) = G(0) \times (G(0)^{-1})^T$$

där \times betyder elementvis multiplikation. (2 p)

- b. Efter omfattande testning av PI-regulatorerna (vars utformning vi inte går in på här) är du inte helt nöjd med prestandan. Du vill minska interaktionen mellan kretsarna genom att införa en dynamisk särkoppling

$$D = \begin{pmatrix} 1 & -G_{12}/G_{11} \\ -G_{21}/G_{22} & 1 \end{pmatrix}$$

Beräkna särkopplingsmatrisen D . Kommer det att uppstå några problem när särkopplingen ska implementeras? (1 p)