



Försättsblad till skriftlig tentamen vid Linköpings universitet

| | |
|---|--|
| Datum för tentamen | 2014-08-22 |
| Sal (1) (Om tentan går i flera salar ska du bifoga ett försättsblad till varje sal och ringa in vilken sal som avses) | TER1, TER2 |
| Tid | 8:00–13:00 |
| Kurskod | TSRT19 |
| Provkod | TEN1 |
| Kursnamn/benämning | Reglerteknik |
| Institution | ISY |
| Antal uppgifter som ingår i tentamen | 5 |
| Jour/kursansvarig (Ange vem som besöker salen) | Svante Gunnarsson |
| Telefon under skrivtiden | 013-281747,070-3994847 |
| Besöker salen cirka kl. | 9:00, 10:30 och 12:00 |
| Kursadministratör/ kontaktperson (Namn, telefonnummer, mejladress) | Ninna Stensgård, 013-282225, ninna.stensgard@liu.se |
| Tillåtna hjälpmedel | 1. <i>T. Glad & L. Ljung</i> : ”Reglerteknik. Grundläggande teori” 2. Tabeller och formelsamlingar, t.ex.: <i>L. Råde & B. Westergren</i> : ”Mathematics handbook”, <i>C. Nordling & J. Österman</i> : ”Physics handbook”, <i>S. Söderkvist</i> : ”Formler & tabeller” 3. Miniräknare utan färdiga program Normala inläsningsanteckningar får finnas i böckerna. |
| Övrigt | — |
| Vilken typ av papper ska användas, rutigt eller linjerat | Rutigt |
| Antal exemplar i påsen | |

TENTAMEN I TSRT19 REGLERTEKNIK

SAL: TER1, TER2

TID: 2014-08-22 kl. 8:00–13:00

KURS: TSRT19 Reglerteknik

PROVKOD: TEN1

INSTITUTION: ISY

ANTAL UPPGIFTER: 5

ANSVARIG LÄRARE: Svante Gunnarsson, tel. 013-281747,070-3994847

BESÖKER SALEN: cirka kl. 9:00, 10:30 och 12:00

KURSADMINISTRATÖR: Ninna Stensgård, 013-282225,
ninna.stensgard@liu.se

TILLÅTNA HJÄLPMEDEL:

1. *T. Glad & L. Ljung*: "Reglerteknik. Grundläggande teori"
2. Tabeller och formelsamlingar, t.ex.:
 - L. Råde & B. Westergren*: "Mathematics handbook",
 - C. Nordling & J. Österman*: "Physics handbook",
 - S. Söderkvist*: "Formler & tabeller"
3. Miniräknare utan färdiga program
Normala inläsningsanteckningar får finnas i böckerna.

LÖSNINGSFÖRSLAG: Finns på kursens websida efter skrivningens slut.

VISNING av tentan äger rum 2014-09-18, kl. 12.30–13.00 i Ljungeln, B-
huset, ingång 27, A-korridoren till höger.

PRELIMINÄRA BETYGSGRÄNSER: betyg 3 23 poäng
 betyg 4 33 poäng
 betyg 5 43 poäng

OBS! Lösningar till samtliga uppgifter ska presenteras så att alla steg (utom triviala beräkningar) kan följas. Bristande motiveringar ger poängavdrag.

Lycka till!

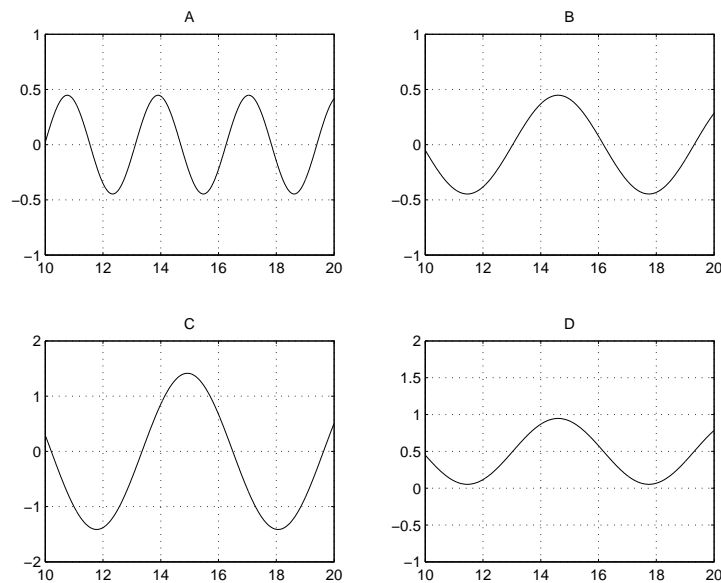
1. (a) Ett system beskrivs av modellen

$$Y(s) = G(s)U(s)$$

där

$$G(s) = \frac{b}{s+a}$$

och $a > b > 0$. Insignalen till systemet ges av $u(t) = \sin t$. Vilken/vilka av signalerna i figur 1 nedan kan vara utsignal från systemet (efter att den transienta delen av utsignalen dött ut)? (4p)



Figur 1: Utsignaler till uppgift 1.a. Tidsskalan är sekunder.

- (b) Ett system beskrivs av modellen

$$\dot{y}(t) + 2y(t) = 4u(t)$$

Antag att insignalen är ett steg med amplituden fem. Gör en skiss av systemets stegsvar. (3p)

- (c) Ett system beskrivs på tillståndsform med modellen

$$\dot{x} = \begin{pmatrix} -1 & 1 \\ 0 & -2 \end{pmatrix} x + \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix} u$$

$$y = (1 \ 0)x$$

Ange modellens poler och nollställen. (3p)

2. (a) Ett system beskrivs av modellen

$$Y(s) = \frac{2}{(10s + 1)^2} U(s)$$

och det styrs med återkopplingen

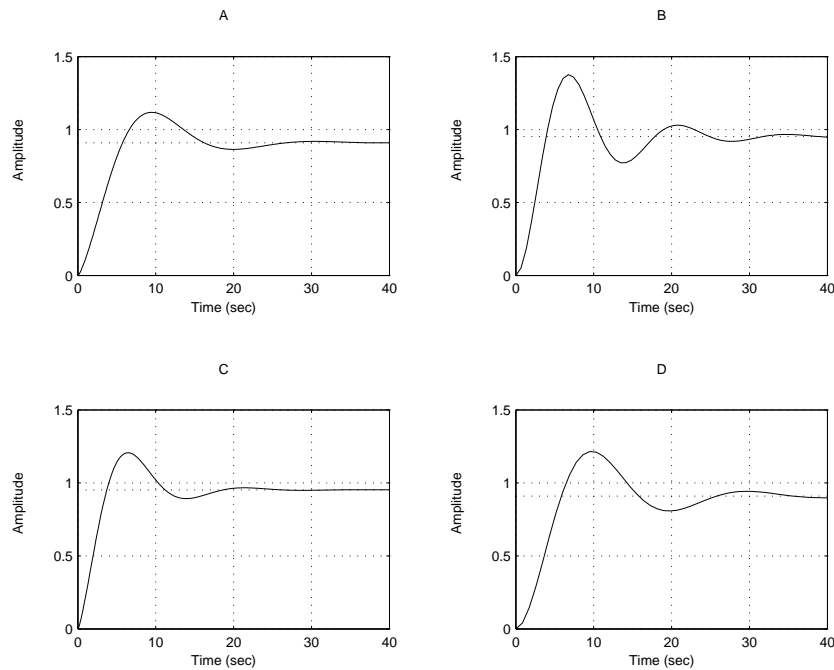
$$U(s) = K \frac{\tau_D s + 1}{\beta \tau_D s + 1} (R(s) - Y(s))$$

I figur 2 visas stegsvaret för det återkopplade systemet för några olika val av koefficienterna K och β . Kombinera figurerna med koefficienterna. Motivera svaret. (4p)

(i) $K = 10 \quad \beta = 0.1$ (ii) $K = 10 \quad \beta = 0.8$

(iii) $K = 5 \quad \beta = 0.1$ (iv) $K = 5 \quad \beta = 0.8$

(4p)



Figur 2: Figur till uppgift 2.a.

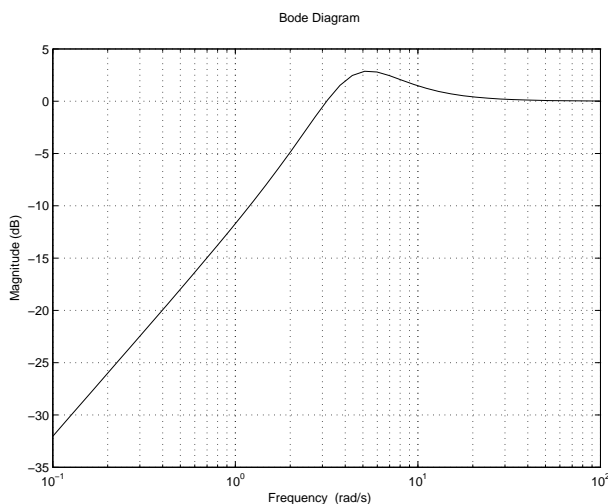
(b) Ett system beskrivs med modellen

$$Y(s) = G(s)U(s) + V(s)$$

och det styrs med återkopplingen

$$U(s) = F(s)(R(s) - Y(s))$$

Ett sätt att ange reglersystemets prestanda, med avseende på utsignalens förmåga att följa förändringar i referenssignalen samt förmågan att dämpa inverkan av systemstörningar på utsignalen, är att ange inom vilket frekvensintervall som känslighetsfunktionens absolutbelopp är mindre än ett. För en viss kombination av system $G(s)$ och regulator $F(s)$ ges känslighetsfunktionens absolutbelopp av figur 3. Inom vilket frekvensintervall är absolutbeloppet mindre än ett? Ange tre skäl till att man i praktiken inte kan göra detta frekvensintervall godtyckligt stort.



Figur 3: $|S(i\omega)|$ för reglersystemet i uppgift 2.b.

(4p)

(c) Ett system beskrivs på tillståndsform av modellen

$$\dot{x} = \begin{pmatrix} -1 & 1 \\ 0 & 2 \end{pmatrix} x + \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} u \quad y = (1 \ 0)x$$

Kan man med hjälp av tillståndsåterkoppling

$$u(t) = -l_1x_1(t) - l_2x_2(t) + r(t)$$

erhålla ett stabilt återkopplat system?

(2p)

3. En farkost antas kunna beskrivas av sambandet

$$Y(s) = G(s)U(s)$$

där u är insignal till drivsystemet och y är position och

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

Modellens bodediagram ges i figur 4 på nästa sida.

- (a) Antag att man vill styra farkostens position automatiskt och använder en proportionell återkoppling

$$U(s) = K(R(s) - Y(s))$$

Vilken skärfrekvens kan maximalt uppnås om man vill att fasmarginalen ska vara minst 60° ? För vilket K erhålls denna skärfrekvens? (2p)

- (b) Antag att man vill att farkosten ska följa en bana som ges av en linjärt växande referenssignal, d v s

$$r(t) = 0.5 \cdot t \quad t \geq 0$$

Hur mycket kommer farkosten, i stationaritet, att avvika från den önskade banan om man använder återkopplingen från a)? (2p)

- (c) Bestäm nu en återkoppling på formen

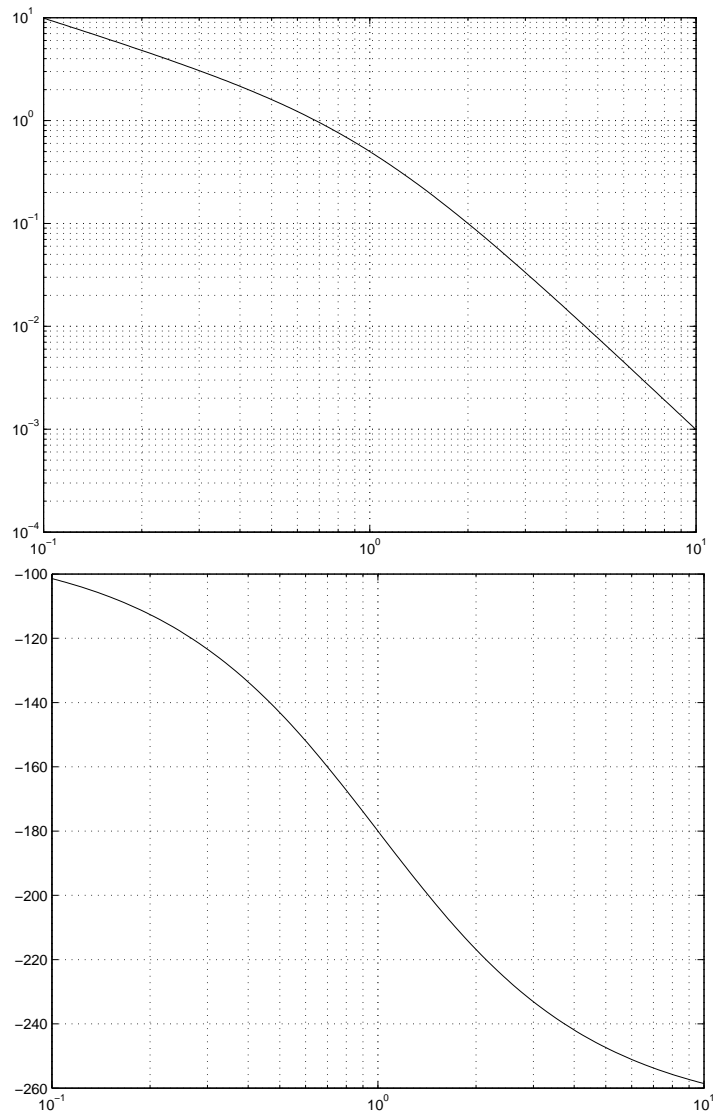
$$U(s) = K \cdot \frac{\tau_I s + 1}{\tau_I s + \gamma} (R(s) - Y(s))$$

sådan att:

- Det stationära reglerfelet reduceras till 10% av vad som erhöles i uppgift b).
- Regulatorns statiska förstärkning är ändlig.
- Fasmarginalen är minst 60° .
- Skärfrekvensen är så hög som möjligt.

(4p)

- (d) Antag att farkosten ska fjärrstyras och att styrsignalen till farkosten samt mätsignalen från farkosten överförs via radio. Informationen överförs med hastigheten $300 \cdot 10^6$ m/s. Kommer regelsystemet att bli stabilt om farkosten placeras på månen och styrs från jorden? Avståndet mellan jorden och månen är approximativt $384 \cdot 10^6$ m. (2p)



Figur 4: Bodediagram.

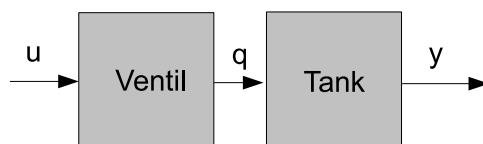
4. Betrakta ett system liknande det som studerades i de två första laborationerna. Systemet består av en tank med nivån y där inflödet q bestäms av en ventil med insignal u . Ventilen behöver en viss tid på sig för att öppnas och problemet kan därför beskrivas med modellen

$$Y(s) = \frac{k_T}{s\tau_T + 1} Q(s)$$

och

$$Q(s) = \frac{k_V}{s\tau_V + 1} U(s)$$

enligt figur 5.



Figur 5: Ventil och tank.

- (a) Ange modellens poler. (1p)
- (b) Verifiera att modellen, med hjälp av tillståndsvariablerna $x_1(t) = y(t)$ och $x_2(t) = q(t)$ kan beskrivas på tillståndsform med

$$\dot{x}(t) = \begin{pmatrix} -1/\tau_T & k_T/\tau_T \\ 0 & -1/\tau_V \end{pmatrix} x(t) + \begin{pmatrix} 0 \\ k_V/\tau_V \end{pmatrix} u(t)$$

$$y(t) = \begin{pmatrix} 1 & 0 \end{pmatrix} x(t)$$

(2p)

- (c) Antag att båda tillståndsvariablerna kan mätas. Antag också att $\tau_T = 1$, $\tau_V = 0.2$, $k_V = 1$ och $k_T = 2$. Bestäm en tillståndsåterkoppling på formen

$$u(t) = -Lx(t) + r(t)$$

sådan att det återkopplade systemets poler placeras i $-4 \pm 4 \cdot i$. (4p)

- (d) Antag att återkopplingen från uppgift c används, men att sensorn som mäter flödet går sönder så att ingen återkoppling sker från detta tillstånd. Vilken relativ dämpning får det återkopplade systemets poler? Kan reglersystemet bli instabilt om båda sensorerna är ur funktion? (3p)

5. Ett system beskrivs av modellen

$$Y(s) = G(s)U(s)$$

där

$$G(s) = \frac{1}{(s + \alpha)^n}$$

Systemet styrs med den proportionella återkopplingen

$$U(s) = K(R(s) - Y(s))$$

Antag $\alpha > 0$, och betrakta fallen $n = 1, 2, \dots$. Ange för vilka n som det gäller att det återkopplade systemet är asymptotiskt stabilt för:

- (a)
- Alla $K > 0$.
 - Vissa $K > 0$.
 - Inte något $K > 0$.

(4p)

(b) Antag $\alpha < 0$, och betrakta fallen $n = 1, 2, 3$. Ange för vilka n som det gäller att det återkopplade systemet är asymptotiskt stabilt för:

- Alla $K > 0$.
- Vissa $K > 0$.
- Inte något $K > 0$.

(6p)