TENTAMEN I TSRT22, TSRT19, TSRT03 REGLERTEKNIK

SAL:

TID: 2019-08-23 kl. 8:00-13:00

KURS: TSRT22, TSRT19, TSRT03 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 2019-09-13, 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

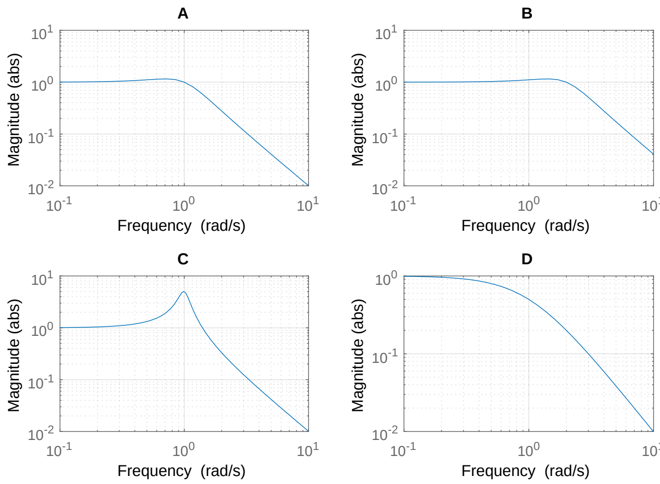
OBS! Lösningar till samtliga uppgifter ska presenteras så att alla steg (utom triviala beräkningar) kan följas. Bristande motiveringar ger poängavdrag.

Lycka till!

1. (a) Ett system beskrivs av modellen

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

I figurerna 1 och 2 visas amplitudkurvorna för fyra olika överföringsfunktioner respektive plottar över polernas lägen. Kombinera amplitudkurvorna med figurerna över polernas lägen. (4p)



Figur 1: Amplitudkurvor till uppgift 1 a.

(b) Ett system beskrivs av modellen

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

där

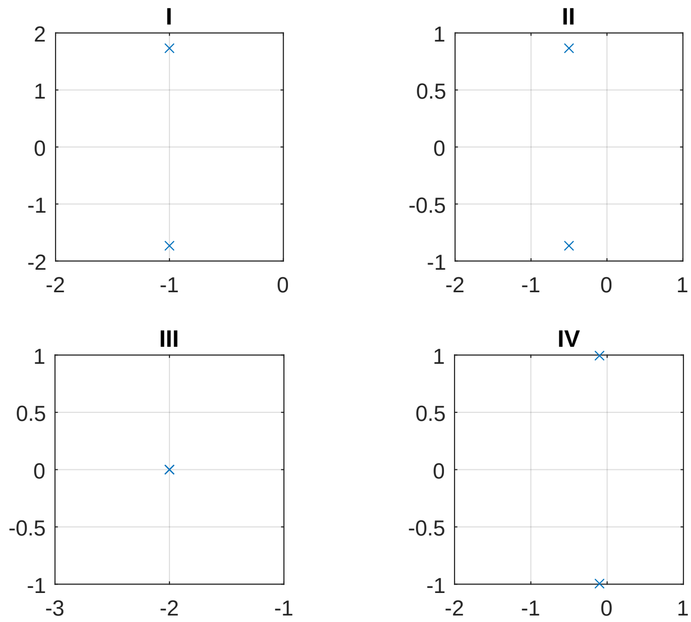
$$G(s) = \frac{4}{s+2}$$

Insignalen ges av $u(t) = 2\sin t$. Ange utsignalen i stationärt tillstånd, d v s efter att den transienta delen av utsignalen dött ut. (3p)

(c) Ett system beskrivs på tillståndsform av modellen

$$\dot{x}(t) = \begin{pmatrix} -1 & \alpha \\ 0 & -1 \end{pmatrix} x(t) + \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} u(t) \qquad y(t) = \begin{pmatrix} 1 & 0 \end{pmatrix} x(t)$$

För vilka värden på α är systemet styr- och observerbart? För vilka värden på α är det stabilt? (3p)



Figur 2: Poler för systemen i uppgift 1 a.

2. (a) Ett system beskrivs av modellen

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

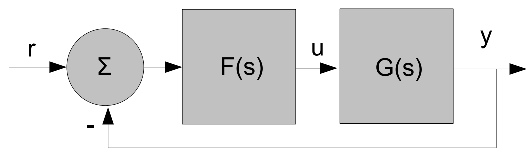
där

$$G(s) = \frac{5}{(2s+1)^2}$$

Systemet styrs med PI-återkopplingen

$$F(s) = K_P + K_I \frac{1}{s}$$

enligt figur 3.



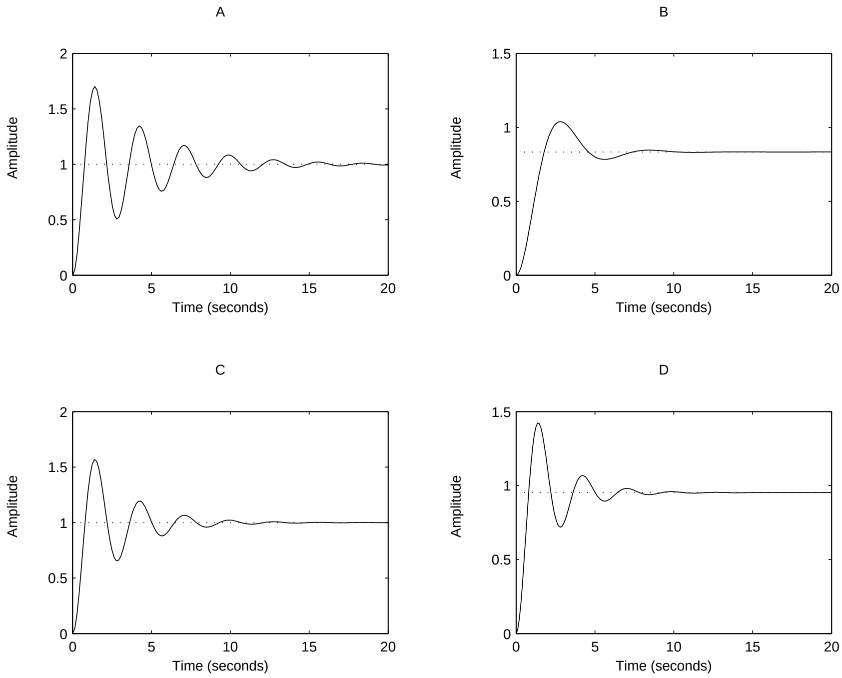
Figur 3: Reglersystem

I figur 4 visas stegsvaret för det återkopplade systemet för följande fyra kombinationer av koefficienter i PI-återkopplingen.

$$(i)\quad K_P = 4, K_I = 0 \qquad (ii)\quad K_P = 1, K_I = 0$$

$$(iii)\quad K_P = 4, K_I = 1 \qquad (iv)\quad K_P = 4, K_I = 2$$

Kombinera figurerna med koefficientvärdena. (4p)



Figur 4: Stegsvar till uppgift 2 a.

(b) Betrakta systemet

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

där

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

och $v(t)$ är en sinusformad störning $v(t) = \sin(\omega t)$. Systemet styrs med återkopplingen

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

Ange reglersystemets känslighetsfunktion. (3p)

(c) Ange känslighetsfunktionens statiska förstärkning, d v s $S(0)$, som funktion av K. Vad är för- och nackdelen med att välja K stort? (3p)

3. Betrakta en dubbeltankprocess bestående av två vattentankar, där den ena tanken är placerad över den andra. Processen kan beskrivas på tillståndsform med modellen

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

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

där tillståndsvariablerna $x_1(t)$ och $x_2(t)$ betecknar avvikelserna i vattennivå från en stationär nivå (jämviktspunkt) i övre respektive undre tanken, $u(t)$ betecknar inflödet i övre tanken och $y(t)$ betecknar nivå i den undre tanken.

(a) Antag att båda nivåerna kan mätas. Bestäm en tillståndsåterkoppling på formen

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

sådan att det återkopplade systemets poler placeras i $-\alpha$. (3p)

(b) Hur stor översläng (approximativt) fås i utsignalen $y(t)$ vid ett steg i referenssignalen när återkopplingen som beräknades i a) används på tankprocessen? Ange hur stegsvarets stigtid principiellt beror av valet av α. Vad är det som i praktiken begränsar hur α kan väljas? (3p)

(c) Antag att man av kostnadsskäl endast vill mäta nivån i den undre tanken, men ändå uppnå samma prestanda som fås med återkopplingen i a). En (inte så reglertekniskt välutbildad) konsult föreslår att man, med utgångspunkt från ekvationen för nivån i den undre tanken, kan skatta nivå i den övre tanken med hjälp av ekvationen

$$\hat{x}_1 = x_2 + \dot{x}_2$$

Förklara varför detta inte är någon bra idé. (1p)

(d) Förslå ett bättre alternativ, jämfört med förslaget i c), för att skapa ett reglersystem för tanken under förutsättning att endast nivån i den undre tanken kan mätas. Några räkningar behöver ej utföras, utan det räcker att ange vilka beräkningar som måste utföras. (3p)

4. 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 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)? (3p)

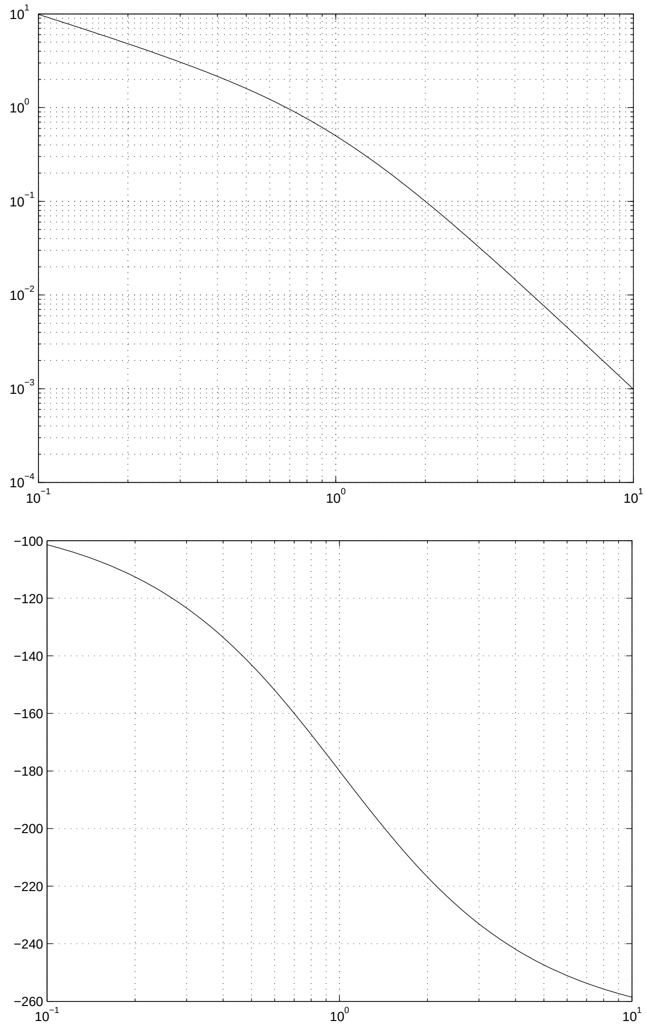
(c) Bestäm nu en återkoppling på formen

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

sådan att:

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

(5p)



Figur 5: Bodediagram till uppgift 4.

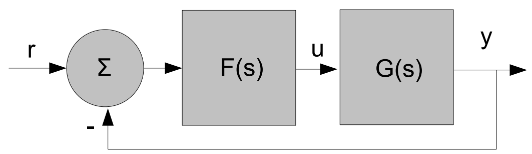
5. En elektrisk motor antas kunna beskrivas av modellen

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

där u är spänning och y är vinkel, samt

$$G(s) = \frac{k_0}{s(\tau s + 1)}$$

där man experimentellt bestämt koefficientvärdena till $k_0 = 50$ och $\tau = 0.25$. Motorn styrs med hjälp av återkoppling enligt figur 6.



Figur 6: Reglersystem

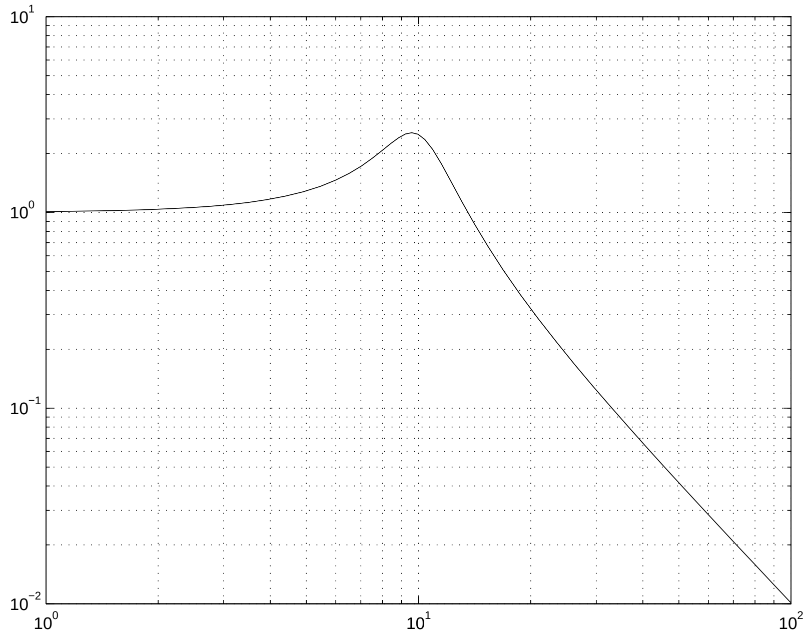
(a) Antag att motorn styrs med proportionell återkoppling, d v s $F(s) = K$. För vilket värde på K har det återkopplade systemtes poler relativ dämpning $1/\sqrt{2}$? (3p)

(b) Antag även nu att motorn styrs med proportionell återkoppling enligt uppgift a). Kan det återkopplade systemet bli instabilt för något $K > 0$? Ange i så fall för vilka värden. (3p)

(c) Antag att man väljer $K = 0.5$ i den proportionella återkopplingen ovan. Då ges det återkopplade systemets amplitudkurva av figur 7 nedan. Antag också att det finns en viss osäkerhet i uppskattningen av koefficienten k_0 och systemet ges istället av

$$G^0(s) = \frac{50(1 + \alpha)}{s(0.25s + 1)}$$

där man dock med säkerhet vet att $\mid \alpha \mid \leq 0.5$. Ger den proportionella återkopplingen ett garanterat stabilt återkopplat system, enligt robusthetskriteriet, i detta fall? Om ej, för vilka värden på α kan stabilitet ej garanteras? (4p)



Figur 7: Amplitudkurva för det återkopplade systemet i uppgift 5.