

TENTAMEN I TSRT19 REGLERTEKNIK

TID: 2018-06-01 kl. 14:00–19:00

KURS: TSRT19 Reglerteknik

PROVKOD: TEN1

INSTITUTION: ISY

ANTAL UPPGIFTER: 5

ANSVARIG LÄRARE: Johan Löfberg, tel. 070-3113019

BESÖKER SALEN: cirka kl. 15:00, 18:00

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 2018-06-15, 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) Många lastbilstillverkare forskar just nu på möjligheten att införa autonom konvoykörning, dvs att flera lastbilar automatiskt kör tätt i rad för att spara energi via de aerodynamiska fenomen som uppstår då man ligger nära varandra. Tänk dig att du har en lastbil som skall hålla ett visst avstånd till en framförvarande lastbil. Föreslå en reglerteknisk lösning på detta. Vad är referenssignal $r(t)$, mätsignal $y(t)$ och styrsignal $u(t)$. (3p)

- (b) Antag att vi har ett linjärt system $G(s)$ som drivs med en extern signal $A \sin(\omega t)$, dvs en sinussignal med amplitud A och frekvens ω . Studera nu utsignalen efter att transienter (initiala förlopp) klingat av. Vilka två påståenden är **felaktiga** i följande lista, och varför?

- a) Utsignalens amplitud beror på insignalens amplitud
- b) Utsignalen kan bli färförskjuten relativt insignalen
- c) Utsignalens frekvens beror på insignalens amplitud
- d) Utsignalens amplitud beror på insignalens frekvens
- e) Utsignalens frekvens beror på insignalens frekvens
- f) Utsignalen kommer att ha samma amplitud som insignalen
- g) Utsignalen kommer att ha samma frekvens som insignalen
- h) Kvoten mellan insignalens amplitud och utsignalens amplitud beror på insignalens frekvens

(2p)

- (c) Insignalen $u(t) = 1$ läggs på ingången på systemet $\frac{1}{-s+1}$. Vad blir utsignalen asymptotiskt (dvs efter väldigt lång tid) (1p)

- (d) Hur många tillstånd behövs för att realisera följande modell i tillståndsform

$$G(s) = \frac{(s+1)^2}{(s+3)^4}$$

(2p)

- (e) Mästeringenjören på kontoret har skapat ett reglersystem till den nya produkten och påstår sig ha erhållit en känslighetsfunktion $\frac{1}{s+1}$ (överföringsfunktion från processstörning till utsignal) samt komplementär känslighetsfunktion $\frac{0.5s-0.5}{s+1}$ (överföringsfunktion från mätbrus till utsignal). Hur ställer du dig till detta påstående? (2p)

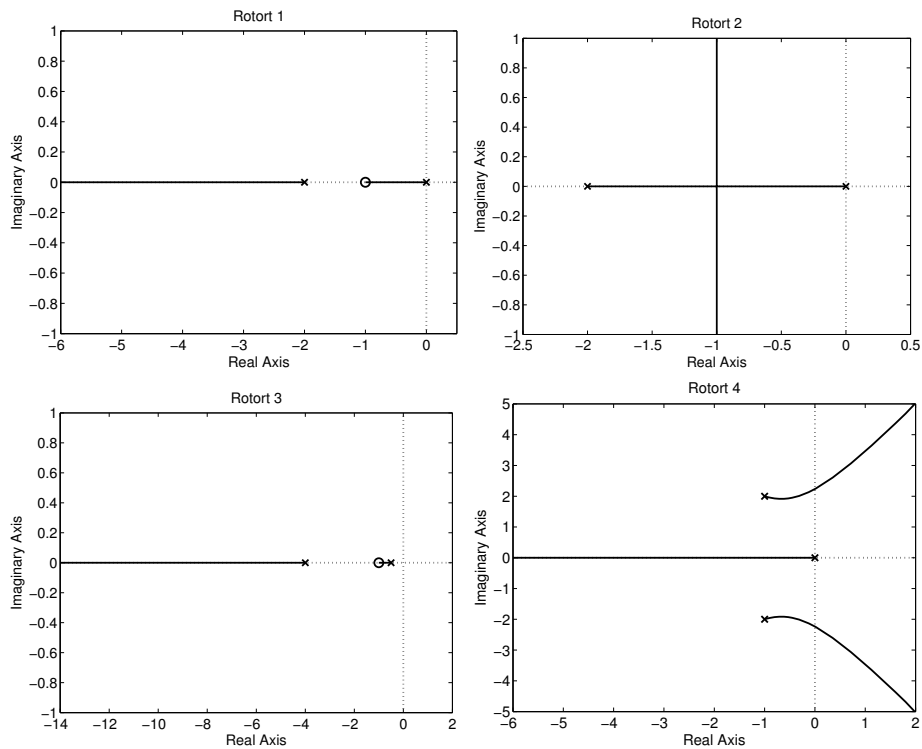
2. (a) I figur 1 finns rotorter avbildade för fyra olika system. Parametern som varierar i rotorterna är förstärkningen K i en P-regulator. I figur 2 (nästa sida) visas stegsvaren för de återkopplade systemen då $K = 0.1, 1$ och 10 . Beskriv hur du kan para ihop rotorter och stegsvar. (4p)

(b) Baserat på rotortsfiguren, vilka av de fyra systemen skulle kunna följa en konstant referenssignal utan statiskt reglerfel? (2p)

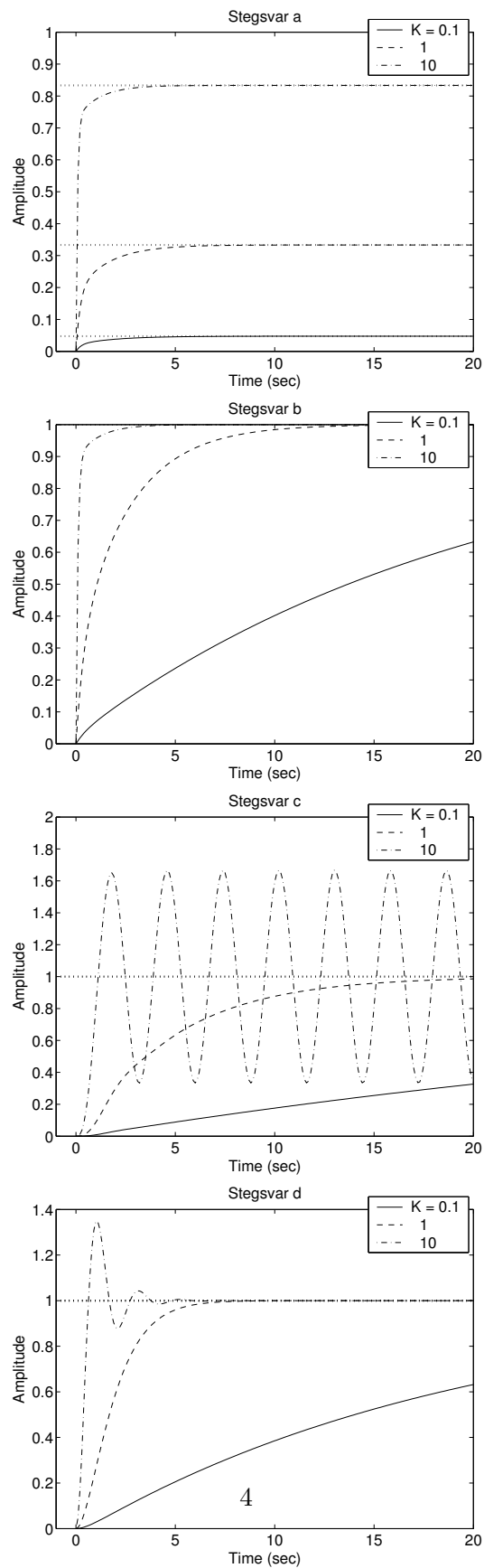
(c) Ett system $Y(s) = G(s)U(s)$ regleras med standard återkoppling $U(s) = F(s)(R(s) - Y(s))$ där

$$G(s) = \frac{-s + 1}{(s + 2)(s + 3)}, \quad F(s) = \frac{s + 1}{-s + 1}$$

Är det slutna systemet från $R(s)$ till $Y(s)$ stabilt? Vad kan du säga om stabilitet från $R(s)$ till $U(s)$? Vad händer med styrsignalen om man gör ett steg i referensen? Ser du något på regulatorn $F(s)$ som förmodligen kan vara problematiskt? (4p)



Figur 1: Rotorter för fyra olika system med P-återkoppling (x=startpunkt, o=slutpunkt).



Figur 2: Stegsvär för de återkopplade systemen med $K = 0.1, 1$ och 10 .

3. Betrakta en modell av ett system med två ihopkopplade vattentankar med ett inflöde $u(t)$ till den övre av de två tankarna

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

där x_1 och x_2 betecknar nivån i den övre respektive undre tanken. Nivåerna i de båda tankarna kan mätas och systemet styrs med återkopplingen

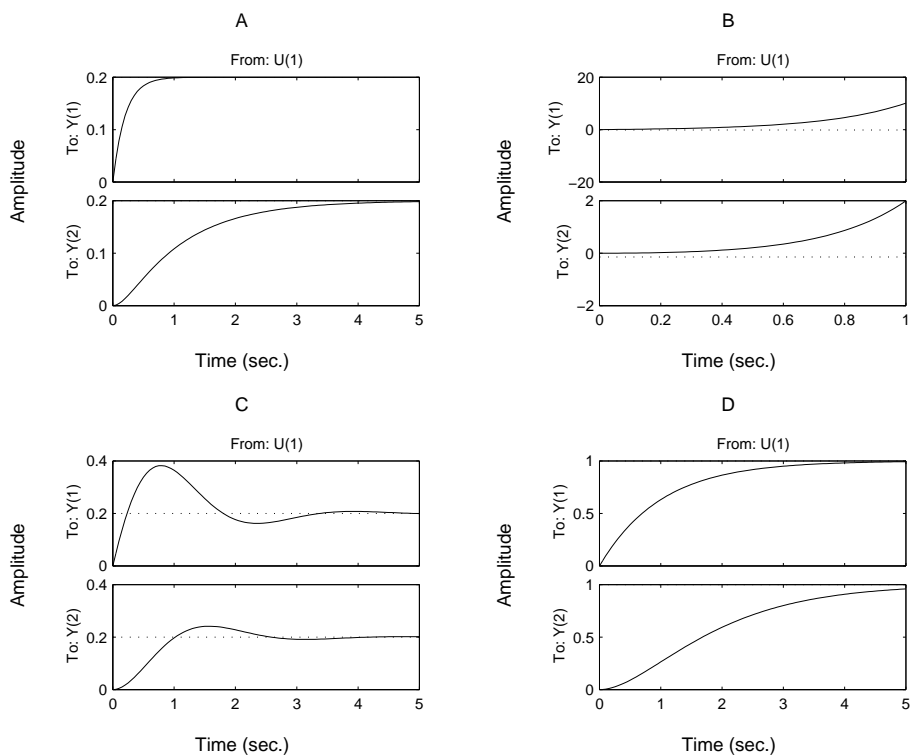
$$u = -Lx + r = -l_1x_1 - l_2x_2 + r$$

- (a) Reglersystemet testas genom att lägga på ett steg i referenssignalen r med följande fyra återkopplingsförstärkningar.

$$(i) \quad L = \begin{pmatrix} 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (ii) \quad L = \begin{pmatrix} 0 & 4 \end{pmatrix}$$

$$(iii) \quad L = \begin{pmatrix} -4 & -4 \end{pmatrix} \quad (iv) \quad L = \begin{pmatrix} 4 & 0 \end{pmatrix}$$

Resultaten visas i figur 3 där de två tillståndens utveckling är upp-
ritade. Kombinera rätt L -vektor med rätt figur (6p)



Figur 3: Stegsvär för de fyra fallen. Övre kurva: x_1 . Undre kurva: x_2 .

(b) Betrakta nu följande system

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

Kan man med tillståndsåterkoppling

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

placera det återkopplade systemets poler godtyckligt? Kan man med tillståndsåterkoppling uppnå att det återkopplade systemet är asymptotiskt stabilt? (4p)

4. (a) I denna uppgift skall vi reglera den så kallade pitchvinkeln på ett blad på ett vindkraftverk. Överföringsfunktionen från pålagd spänning $u(t)$ på en elmotor, till bladets vinkel $y(t)$ i grader ges av

$$G(s) = \frac{2}{0.1s^3 + 1.02s^2 + 0.3s + 1}$$

och Bodediagrammet för detta system är avbildat i figur 4.

Man vill använda en regulator på formen

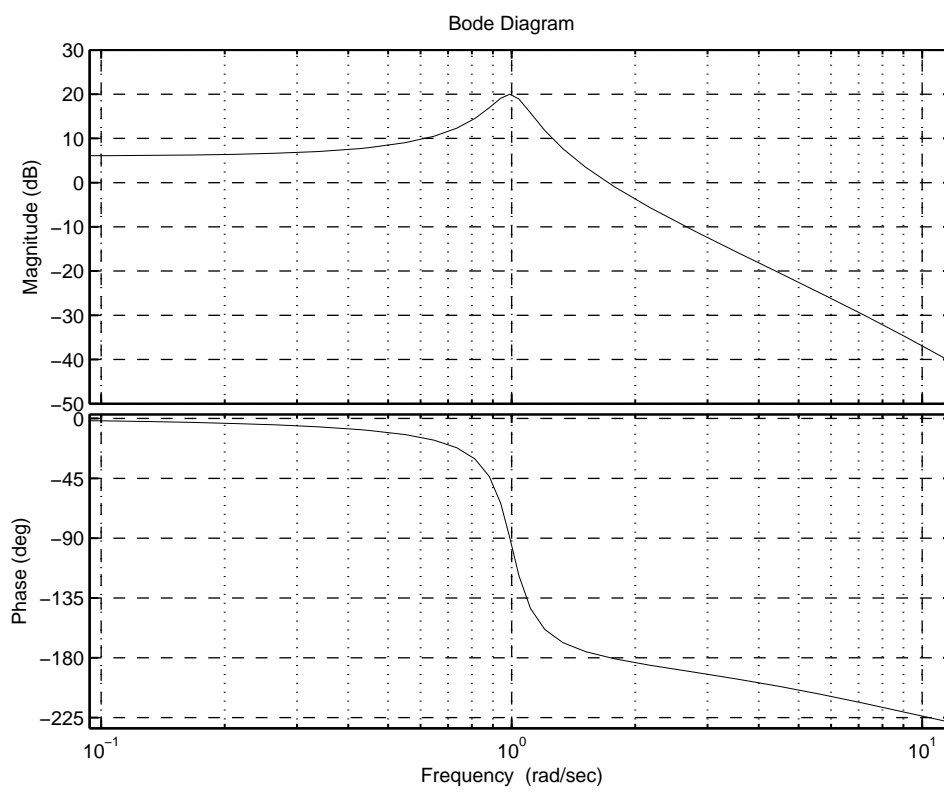
$$U(s) = F(s)(R(s) - Y(s))$$

för att få ett slutet system med lämpliga egenskaper. Antag att en P-regulator används. Vilken är den maximala skärfrekvensen som man då kan få om man kräver att det slutna systemet ska vara stabilt? Ange värdet på P-regulatorns förstärkning i detta fall. (3p)

- (b) En bättre regulator visar sig krävas. Vi önskar oss ett slutet system med följande egenskaper:

- Skärfrekvensen ska vara 5 rad/s.
- Fasmarginalen ska vara 20°
- Det stationära reglerfelet ska inte vara större än 0.2° när referenssignalen är ett steg med amplitud 10° (dvs vid önskad bladvinkel på 10° så måste vinkeln hamna inom $9.8^\circ - 10.2^\circ$)
- Lågfrekvens- och högfrekvensförstärkningen i regulatorn ska inte vara onödigt hög.

Ta fram en regulator som uppfyller dessa krav. (7p)



Figur 4: Bodediagram för $G(s)$ i uppgift 4.

5. (a) Antag att vi har ett system med följande tillståndsmodell

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

Tyvärr kan vi inte mäta tillstånden, utan har bara tillgång till en (exakt) mätning av $y(t) = x_1(t)$. Föreslå en observatör som estimerar de två tillstånden, och har poler i -5 . (4p)

- (b) Vid närmare analys visar det sig att mäthanordningen är felaktig. Den ger en mätsignal med en bias-term, dvs $y(t) = \alpha + x_1(t)$ där α är okänd men konstant. Visa att man kan få fram estimat av både de två tillstånden $x(t)$ och den okända konstanten α . (Tips: Vad vet du om derivatan på α ? Inför ett nytt tillstånd och utvidga modellen med detta tillstånd) (6p)

Häftigt eller hur! Du har två variabler som hänger ihop i via differentialekvationer i ett system (t.ex vinkelhastighet och vinkelläge på en robotarm), du kan inte mäta den ena alls, och den andra mäter du konstant fel på, men ändå kan du lista ut vad signalerna har för värden! Centralt för att få detta att fungera är dock att vi har bra modeller, både över systemet och hur den okända variabeln beter sig.