TENTAMEN I REGLERTEKNIK

SAL: TER1

TID: 12 januari 2016, klockan 8 - 13

KURS: TSRT19

PROVKOD: TEN1

INSTITUTION: ISY

ANTAL UPPGIFTER: 5

ANSVARIG LÄRARE: Johan Löfberg, 070-3113019

BESÖKER SALEN: 09.00, 11.30

KURSADMINISTRATÖR: Ninna Stensgård, tel 013-284725, ninna.stensgard@liu.se

TILLÅTNA HJÄLPMEDEL: Läroboken Glad-Ljung: ”Reglerteknik, grundläggande teori” med inläsningsanteckningar, tabeller, formelsamling, räknedosa utan färdiga program.

LÖSNINGSFÖRSLAG: Anslås efter tentamen på kursens hemsida.

VISNING av tentan sker i Ljungeln (B-huset, A-korridor mellan ingång 25 och 27) 2/2 12.30-13.00.

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. Föreslå en reglerteknisk lösning på detta. Vad är referenssignal $r(t)$, mätsignal $y(t)$ och styrsignal $u(t)$ i din strategi? (3p)

   (b) Insignalen $u(t) = 4\sin(3t)$ läggs på ingången på systemet $\frac{1}{s+2}$. Vad blir utsignalen asymptotiskt (dvs efter väldigt lång tid)? (2p)

   (c) Insignalen $u(t) = 1$ läggs på ingången på systemet $\frac{1}{s-1}$. Vad blir utsignalen asymptotiskt? (1p)

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

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

(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)

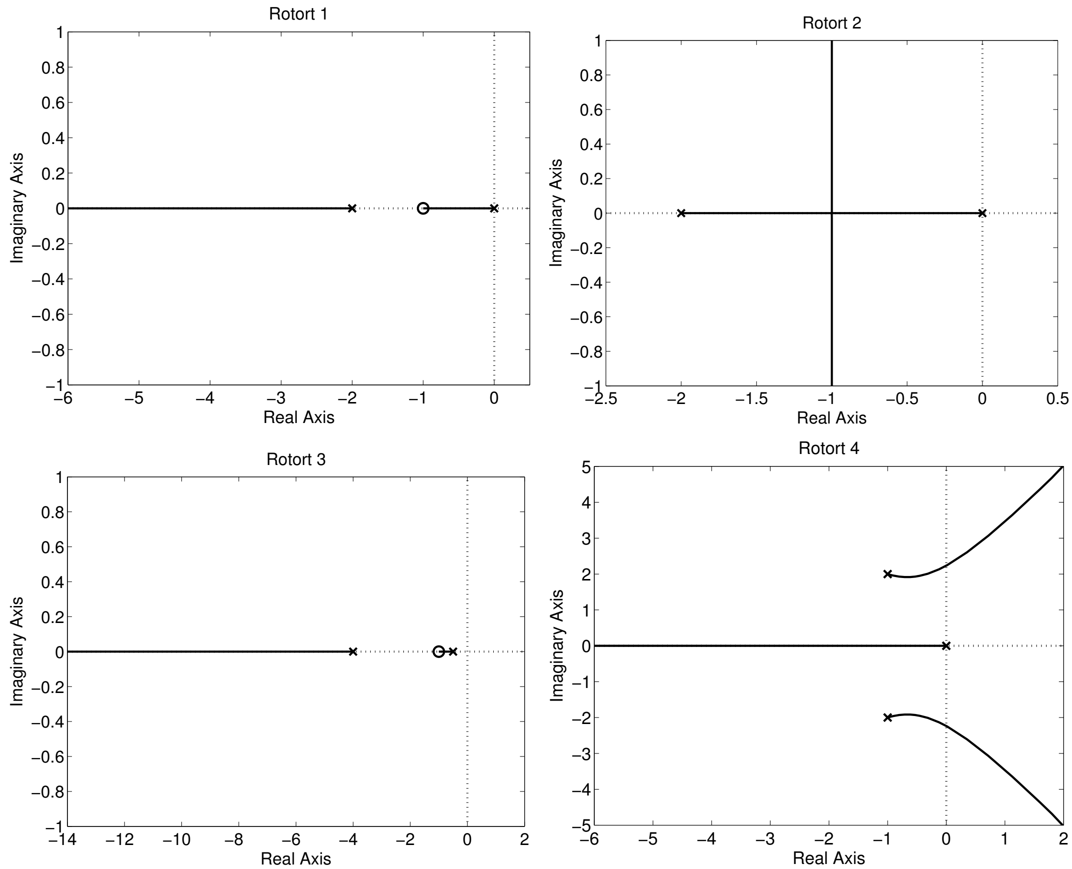
2. (a) I figur 1 finns rotorter avbildade för fyra olika system. Parametern som varieras i rotorterna är förstärkningen K i en P-regulator. I figur 2 (nästa sida) visas stegsvaren för de återkopplade systemen då $K = 0.1,\ 1$ och 10. Ange vilken rotort som hör ihop med vilka stegsvar. OBS! Som alltid så krävs motivering! Enbart en korrekt hopparning av rotort och stegsvar ger inga poäng. (4p)

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

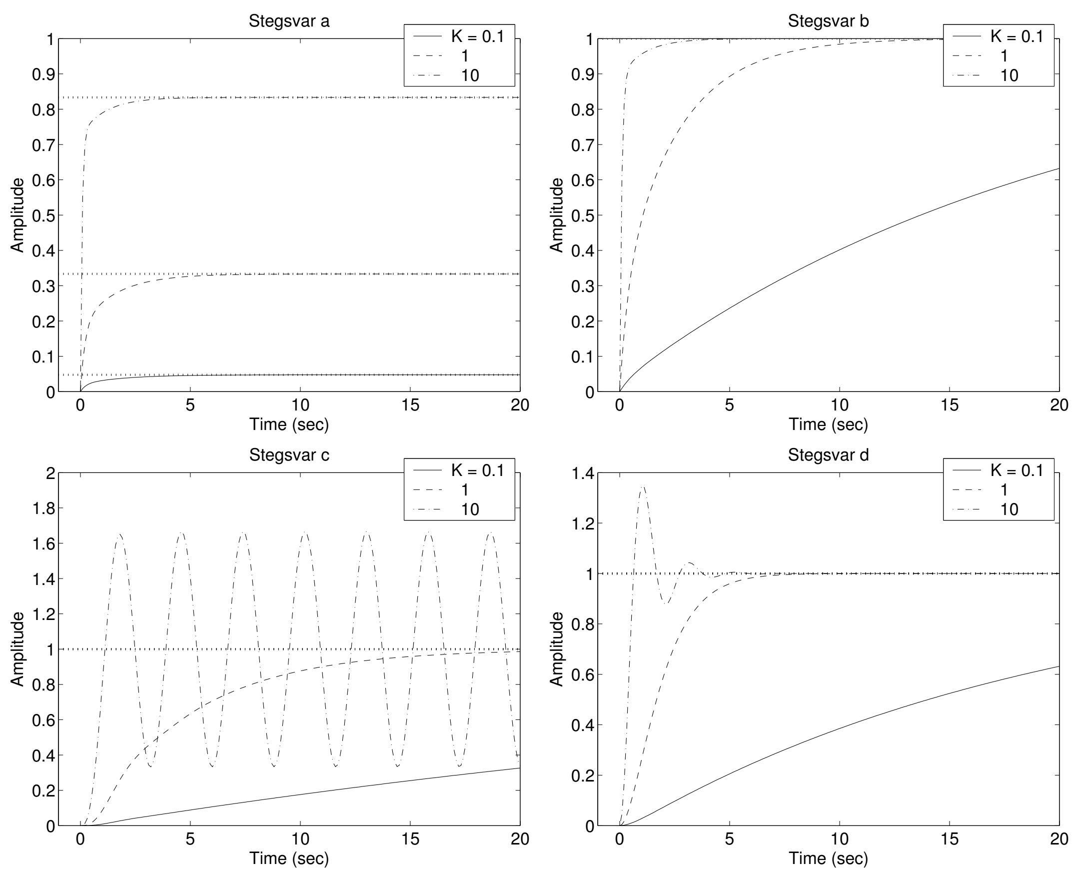
   (c) Ett system $Y(s) = G(s)U(s)$ regleras med standard återkoppling $U(s) = F(s)(R(s) - Y(s))$ där

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

Är det slutna systemet från $R(s)$ till $Y(s)$ stabilt? Vad kan du säga om överföringsfunktionen från $R(s)$ till $U(s)$? Vad händer med styrsignalen om man gör ett steg i referensen? (4p)

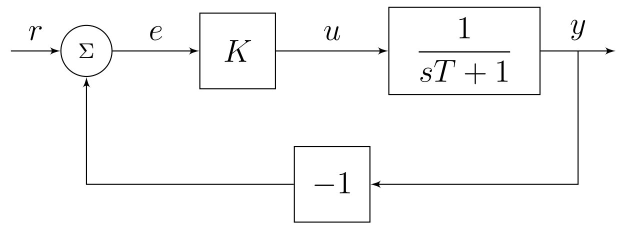


Figur 1: Rotorter för fyra olika system med P-återkoppling (**x**=startpunkt, **o**=slutpunkt).



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

3. Betrakta återkopplingen i figur 3, där K svarar mot en P-reglering och $T > 0$ är systemets tidskonstant.



Figur 3: Återkopplat system i uppgift 3(a,b).

(a) Ange ett uttryck för kretsförstärkningens skärfrekvens ω_c i termer av K och T (Antag att $K > 1$). (2p)

(b) Ange ett uttryck för det slutna systemets bandbredd ω_B i termer av K och T. (3p)

(c) Ett fjäder-massa system med reglerad position $y(t)$ och pålagd kraft $u(t)$ kan förenklat beskrivas av ekvationen

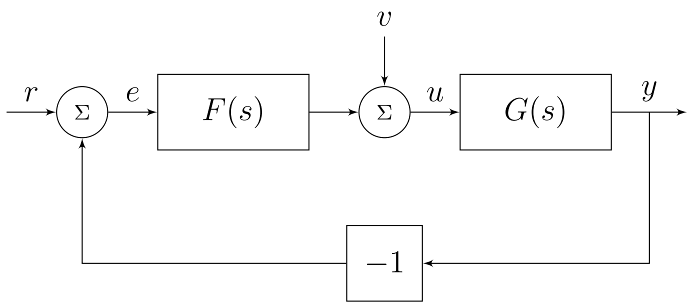
$$m\ddot{y}(t) = -f\dot{y}(t) - ky(t) + u(t)$$

där m är upphängd massa, f är en friktionskoefficient och k är fjäderkonstant. Inför tillståndsvariablerna $x_1 = y$ och $x_2 = \dot{y}$ och ställ upp systemet på tillståndsform. (2p)

(d) Sätt $m = f = k = 1$ i modellen i uppgift (c). Bestäm en tillståndsåterkoppling på formen

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

sådan att det återkopplade systemets poler placeras i -5. Notera att uppgiften kan lösas även om du inte lyckats lösa uppgift (c). (3p)



Figur 4: Återkopplat system i uppgift 4(c,d).

4. pH-värdet i en kemisk reaktor regleras genom tillförsel av en basisk lösning. Överföringsfunktionen $G(s)$ från tillförseltakt $u(t)$ till pH-värde $y(t)$ har experimentellt identifierats till

$$G(s) = \frac{17}{(s+1)(0.1s+1)(0.1s+10)}.$$

(a) Ange $G(s)$ poler, nollställen samt statiska förstärkning. (2p)

(b) Om du vore tvungen att approximera $G(s)$ som ett första ordningens system, vilken approximation skulle du då använda? (2p)

(c) Vilken konstant tillförseltakt $u(t)$ krävs för att stationärt erhålla ett pH-värde $y(t) = 7$? (2p)

(d) Ingenjör Pasteur har designat en återkoppling $F(s)$ för att reglera pH-värdet i reaktorn. Dock visar det sig att tillförseltakten av den basiska lösningen är svår att manipulera exakt, vilket yttrar sig som additiv störning $v(t)$ på insignalen, se figur 4. Ta fram ett uttryck för överföringsfunktionen från störningen $v(t)$ till utsignalen $y(t)$. (2p)

(e) Ingenjör Pasteur har konstruerat $F(s)$ så att det stationära felet då referenssignalen är ett steg är 5 %, men han har inte tagit hänsyn till störningen $v(t)$ in sin regulatorsyntes! Antag att $v(t) = A$ är en konstant störning. Hur stor blir påverkan av störningen på utsignalen $y(t)$ i stationäritet? (2p)

5. (a) Icke-minfassystem, dvs. system med nollställen i höger halvplan, kännetecknas av initiala underslängar i sina stegsvar. Visa att stegsvaret för systemet

$$G(s) = \frac{2-s}{s^2+3s+1} \tag{$\star$}$$

initialt går åt ”fel håll”. Använd begynnelsevärdessatsen i Appendix A.2 i boken. (2p)

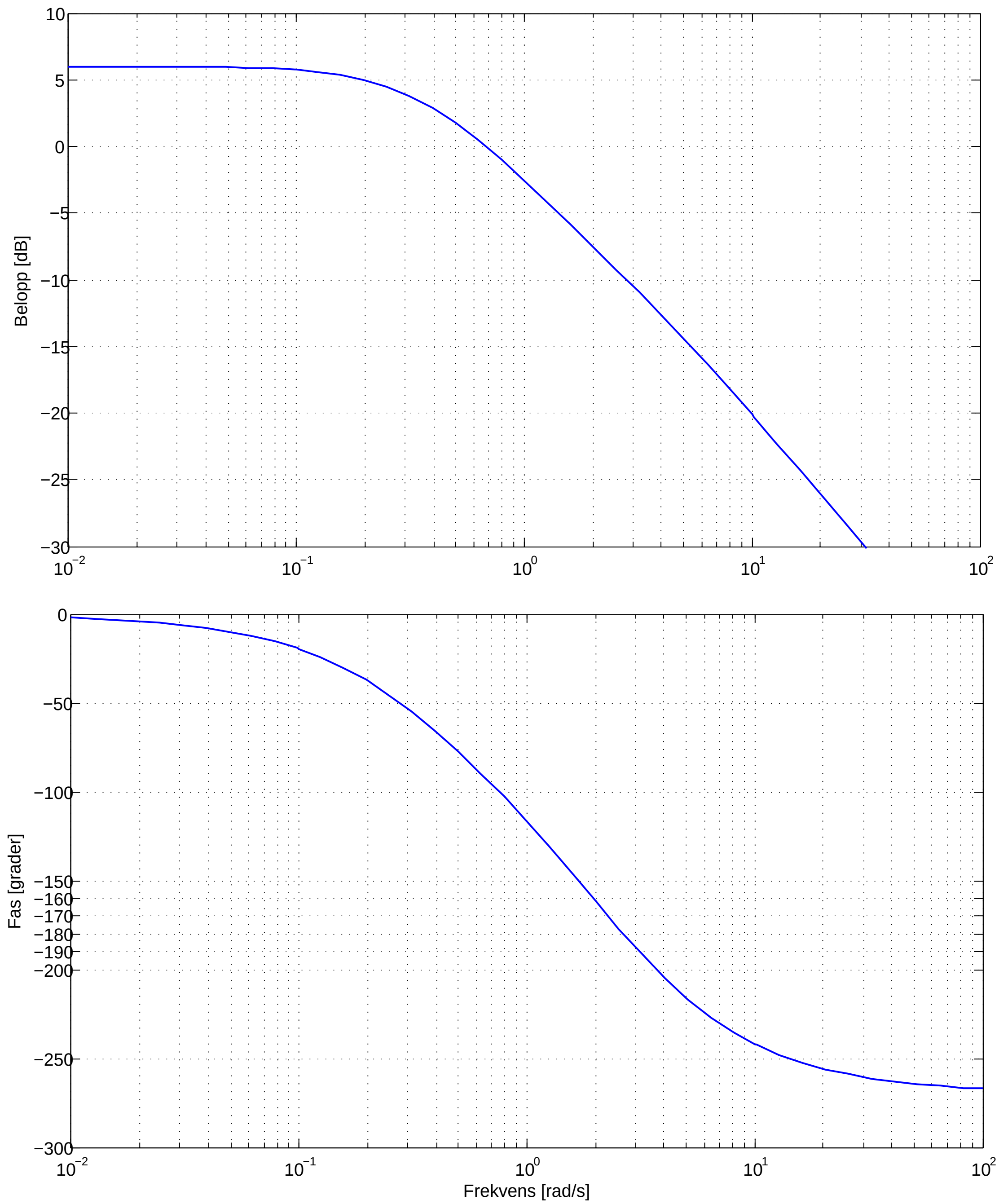
(b) Ett Bodediagram för systemet ($\star$) ges i figur 5. En fasavancerande/fasretarderande regulator

$$F(s) = F_{\text{lead}}(s)F_{\text{lag}}(s) = K\frac{\tau_D s+1}{\beta\tau_D s+1}\frac{\tau_I s+1}{\tau_I s+\gamma}$$

ska användas för att reglera systemet. På grund av risken för mätbrus har ingenjör Lotz kommit fram till att en alltför hög förstärkning vid höga frekvenser bör undvikas, och hon har därför satt en gräns på parametern $\beta \geq 0.2$. Under denna restriktion, hjälp henne att designa en regulator sådan att:

- Fasmarginalen är minst 50°.
- Det återkopplade systemet är så snabbt som möjligt.
- Det stationära felet då referenssignalen är ett steg är högst 1 % (större lågfrekvensförstärkning än vad som behövs får ej användas).

Ledning: Hur mycket fasavancering kan som mest erhållas om $\beta \geq 0.2$? (8p)



Figur 5: Bodediagram för $G(s)$ i uppgift 5(b)