TENTAMEN I REGLERTEKNIK

SAL: TER1, TERE

TID: 14 mars 2023, klockan 14 - 19

UTBKOD: TSRT19/TSRT23

MODUL: TEN1

INSTITUTION: ISY

ANTAL UPPGIFTER: 5

ANSVARIG LÄRARE: Johan Löfberg, 070-3113019

BESÖKER SALEN: 15.00, 17:00

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.

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) 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)

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

   (c) Vad är risken med att införa integralverkan i en PID-regulator? (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) Ett system ges av $G(s) = \frac{1}{s^2+as+b}$ där $a > 0$ och $b > 0$ och är valda så att systemet är oscillativt. Antag att konstanterna a respektive b ökar i värde samtidigt som den andra konstanten är oförändrad. Vad händer med systemets dämpning i de två fallen? (2p)

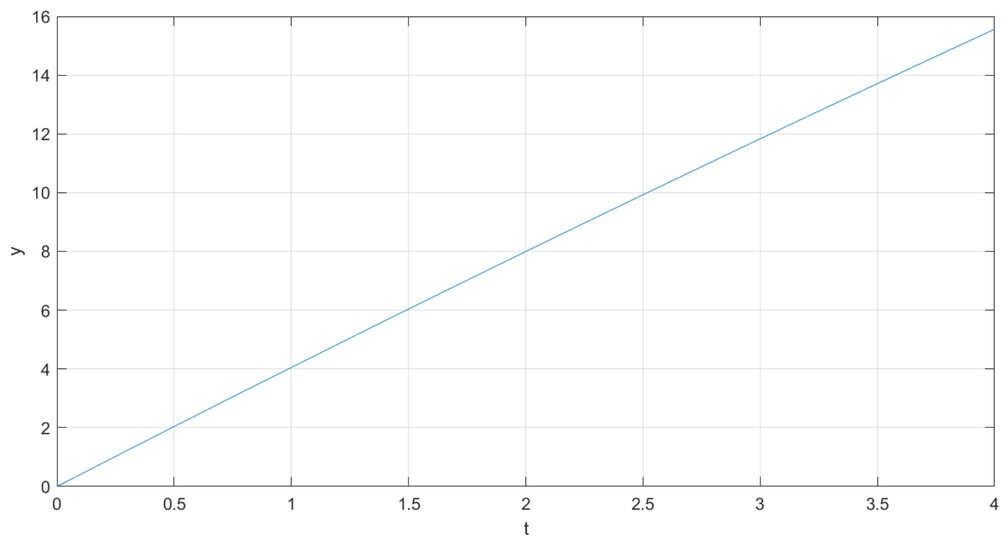
   (f) Mästeringenjören på kontoret har skapat ett reglersystem till den nya produkten och påstår sig ha erhållit en känslighetsfunktion $\frac{1}{s+1}$ (överföringsfunktion från processstörning till utsignal) samt komplementär känslighetsfunktion $\frac{0.5s-0.5}{s+1}$ (överföringsfunktion från mätbrus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

2. (a) Vår kamrat Stig som du kanske stött på vid tidigare tentamenstillfälle har än en gång fått i uppdrag att genomföra stegssvarsexperiment för att identifiera konstanter i en process.

Den här gången analyseras hur målarfärg torkar och härdar om man värmer utrymmet omkring. Studerad utsignal $y(t)$ representerar alltså ythårdhet, och insignal $u(t)$ är effekt på ett uppvärmningsaggregat.

Man vet att processen bör kunna beskrivas väl av $Y(s) = \frac{K}{sT+1}U(s)$, och tidigare experiment har avslöjat att $T = 36$, men K är fortfarande okänt. Således är Stig satt på att genomföra ett stegsvarsexperiment för att ta fram K. Som insignal väljs ett steg med amplitud 4000 (dvs, man slår på ett värmeaggregat på 4kW).

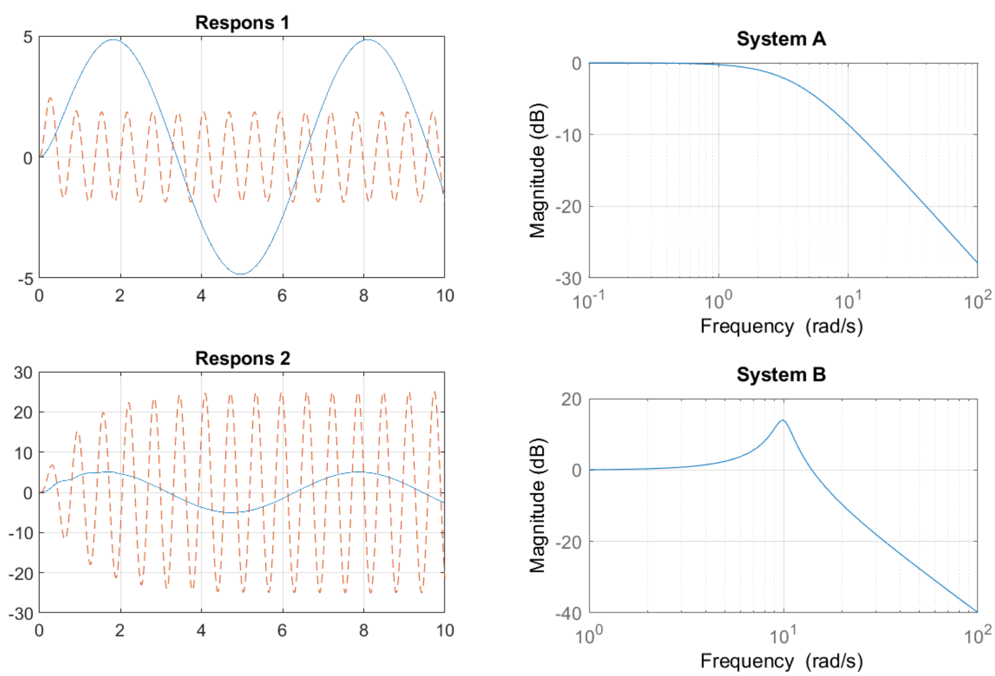
Stig är otålig, och tycker att arbetet är nästintill lika tråkigt som att se målarfärg torka. Stig samlar data en kort stund, se figur, och avbryter långt innan stegsvaret konvergerat, men räknar ändå med ganska god noggranhet ut K. Gör det du också! (3p)



Figur 1: Stigs avbrutna stegsvarsexperiment.

(b) Även vår tidigare bekantskap Pernilla har varit i farten igen med frekvenssvarsexperiment. Denna gång har hon genomfört experiment på två olika system, vars Bodediagram återges till höger i figur 2.

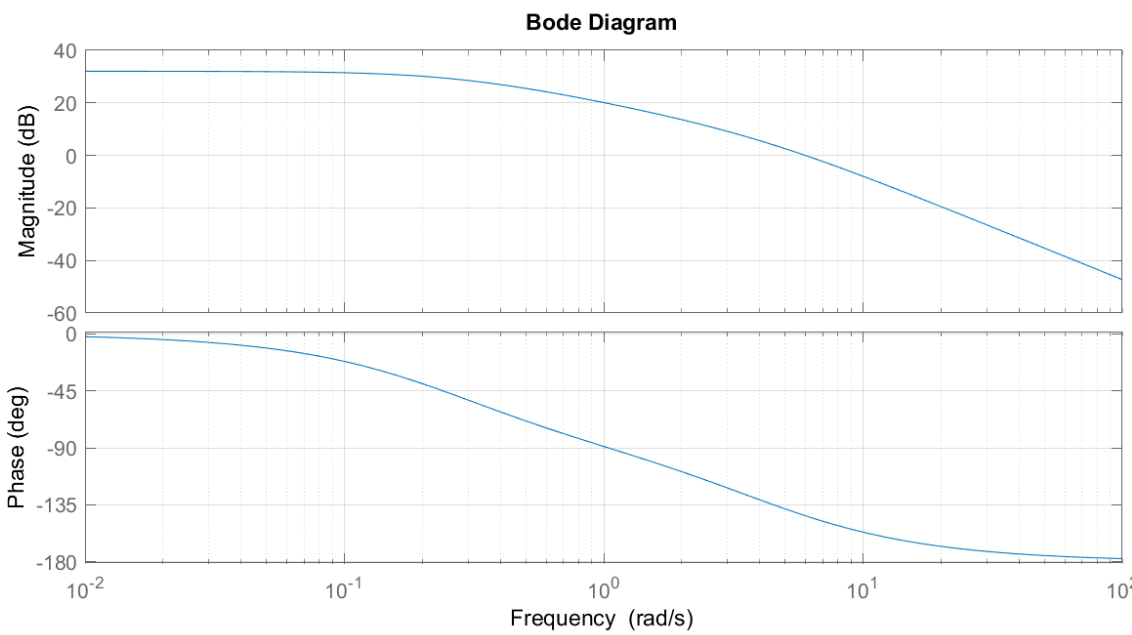
På varje system har hon genomfört två experiment där hon har använt två olika insignaler, en sinusformad med hög frekvens, och en med lite lägre frekvens. Alla insignalerna hade samma (okända) amlitud. Hon har plottat responsen på utsignalen för de genomförda experimenten, men tyvärr har hon glömt vilken av figurerna med respons som hör till vilket system, och det är din uppgift att reda ut detta. (2p)



Figur 2: Bilder för Pernillas frekvenssvarsexperiment.

(c) Uppskatta vilken amplitud det var på insignalerna i Pernillas experiment. (2p)

(d) Antag att ett system $G(s)$ vars Bodediagram avbildas i figur 3 regleras med en P-regulator med förstärkning 1. Hur mycket kommer sinusformade utsignalstörningar med frekvensen 1 rad/s att förstärkas? (3p)



Figur 3: Bodediagram för $G(s)$ i 2d.

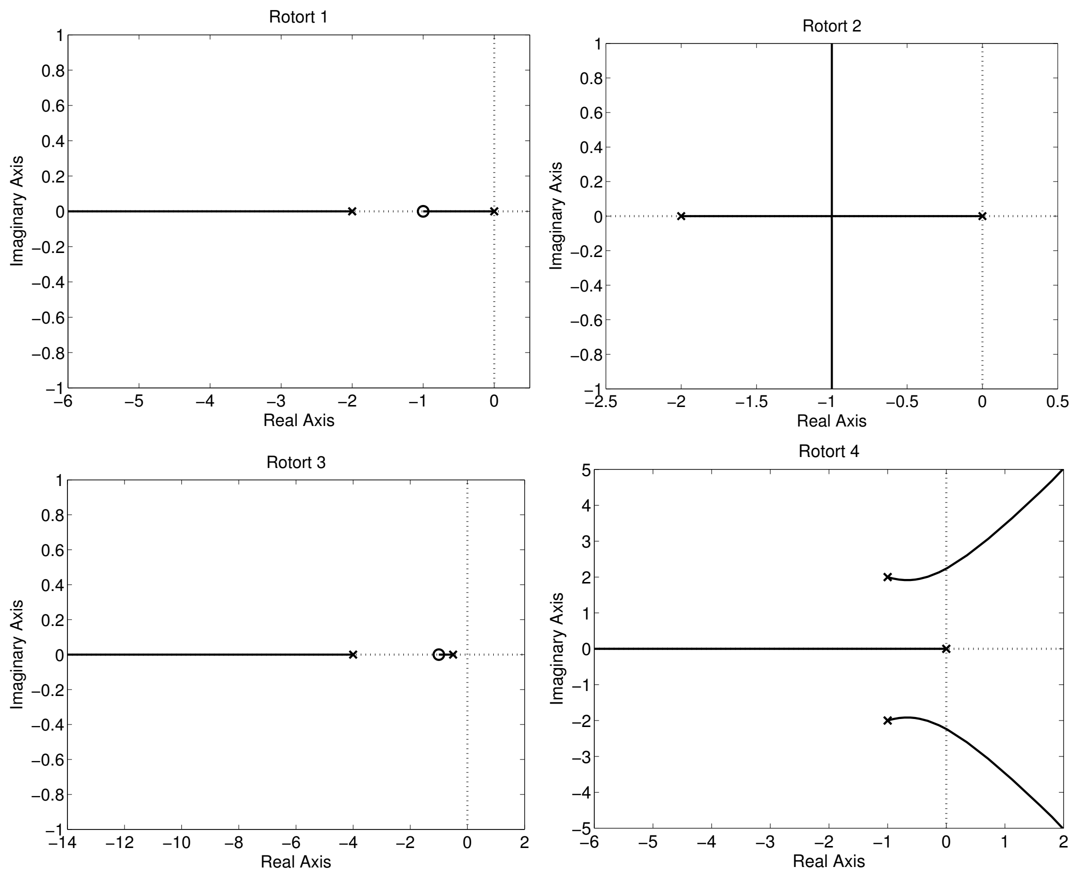
3. (a) I figur 4 finns rotorter avbildade för fyra olika system. Parametern som varieras i rotorterna är förstärkningen K i en P-regulator. I figur 5 (nästa sida) visas stegsvaren för de återkopplade systemen då $K = 0.1,\ 1$ och 10. Förklara vilken rotort som hör ihop med vilket stegsvar. (4p)

   (b) Utgå från rotortsfiguren, och förklara vilka av de fyra systemen som skulle kunna följa en konstant referenssignal utan statiskt reglerfel då en P-regulator används? (2p)

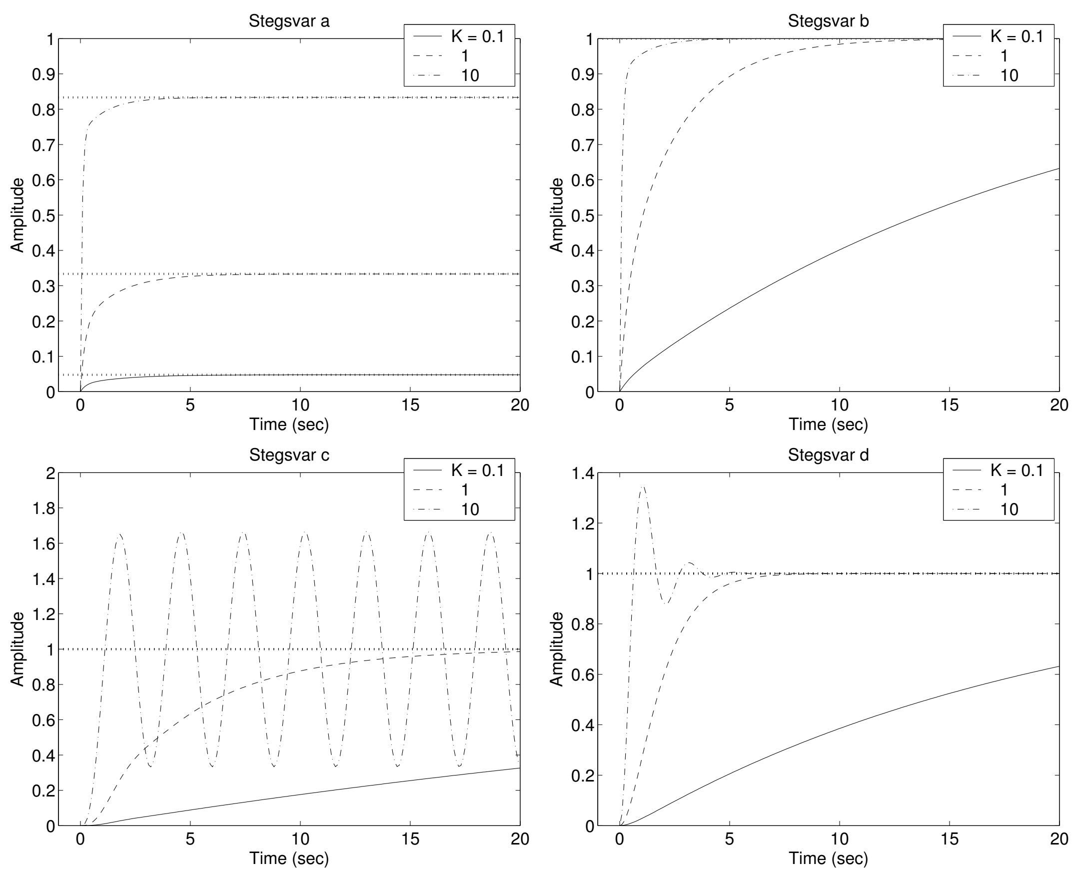
   (c) Ett system $Y(s) = G(s)U(s)$ regleras med standard återkoppling $U(s) = F(s)(R(s) - Y(s))$ där

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

   Ser du någon tänkbart oroväckande egenskap på regulatorn? 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)

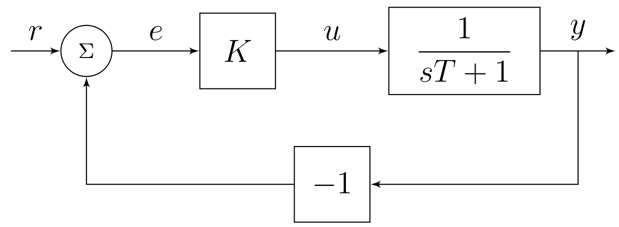


Figur 4: Rotorter för fyra olika system med P-återkoppling (**x**=startpunkt, **o**=slutpunkt).



Figur 5: Stegsvar för de återkopplade systemen med $K = 0.1$, 1 och 10.

4. Betrakta återkopplingen i figur 6, där en P-regulator ges av $K > 0$, och $T > 0$ är det reglerade systemets tidskonstant.



Figur 6: Återkopplat system i uppgift 4(a,b).

(a) Ange ett uttryck för kretsförstärkningens skärfrekvens ω_c i termer av K och T . (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

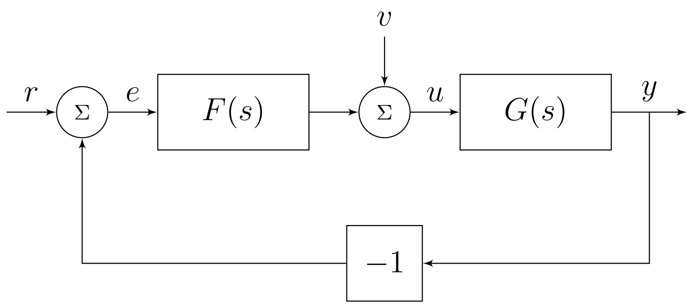
$$m\ddot{y}(t) = -f\dot{y}(t) - ky(t) + u(t)$$

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 7: Återkopplat system i uppgift 5(c,d).

5. 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 7. 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)