

TENTAMEN I REGLERTEKNIK

TID: 2022-01-10, kl 08.00-13.00

KURS: TSRT19, TSRT23

PROVKOD: TEN1

INSTITUTION: ISY

ANTAL UPPGIFTER: 5

ANSVARIG LÄRARE: Johan Löfberg, tel 070-3113019

BESÖKER SALEN: 10.00, 12.00

KURSADMINISTRATÖR: Ninna Stensgård, tel 013-282225, 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, om ej annat sägs. Bristande motiveringar ger poängavdrag.

Lycka till!

1. (a) Ange för- och nackdelar för reglerdesign baserat på PID respektive tillståndsåterkoppling. (2p)

- (b) En modell som beskriver hur syrehalten $y(t)$ i blodet påverkas av inandning av en viss gas ($u(t)$, gram per sekund) ges av

$$\begin{aligned}\dot{x} &= \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix} x + \begin{pmatrix} 2 \\ 3 \end{pmatrix} u \\ y &= (1 \quad 1) x\end{aligned}$$

Kan man utgående från mätningar $y(t)$ skatta de enskilda komponenterna i $x(t)$ som motsvarar två olika sorters cellers syrehalt i blodet (dvs genom mätning av total syrehalt lista ut de enskilda syrehalterna). (2p)

- (c) Antag att vi driver ett system beskrivet av

$$G(s) = \frac{100}{s^2 + s + 25},$$

med insignalen $u(t) = 4 \sin 5t$. Hur stor blir amplituden på den resulterande utsignalen efter lång tid. (2p)

- (d) Fråga utgick p.g.a typo

2. (a) Du och din kompis har tagit fram modeller som beskriver hur vattentemperaturen i ett akvarium $y(t)$ påverkas av ett värmeelement med spänning $u(t)$. Du fick fram en modell som kan skrivas som

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

och din kompis fick

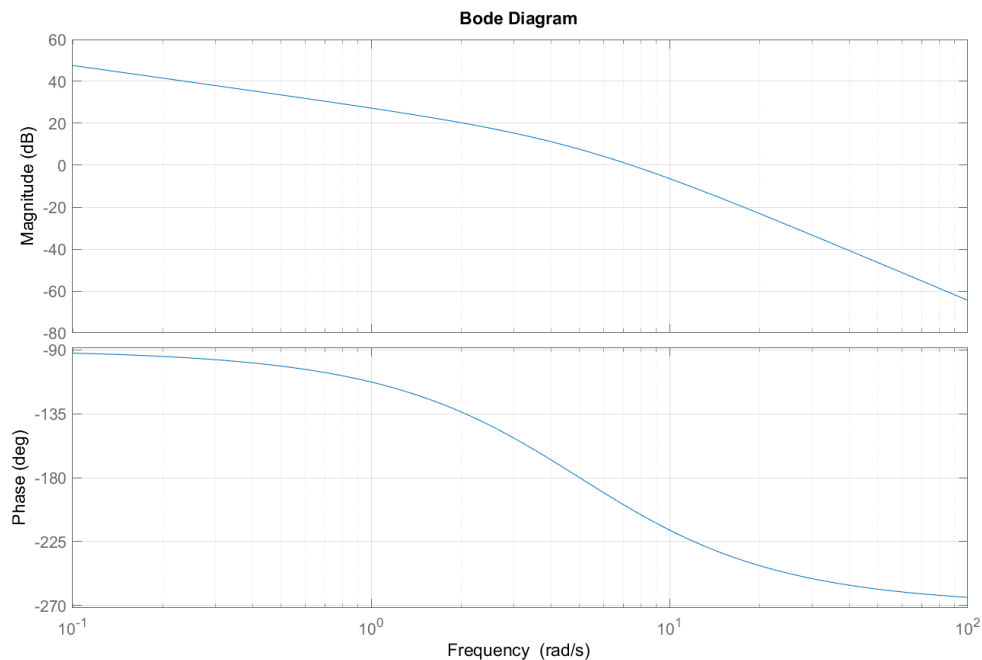
$$\begin{aligned}\dot{x} &= \begin{pmatrix} -3 & 1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix} x + \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} u \\ y &= (1 \ 0) x\end{aligned}$$

Argumentera för och visa att ni båda kan ha rätt trots olika utseende. Vad är det som skiljer i era modeller (förutom det uppenbara numeriska) som gör att de blir olika? (3p)

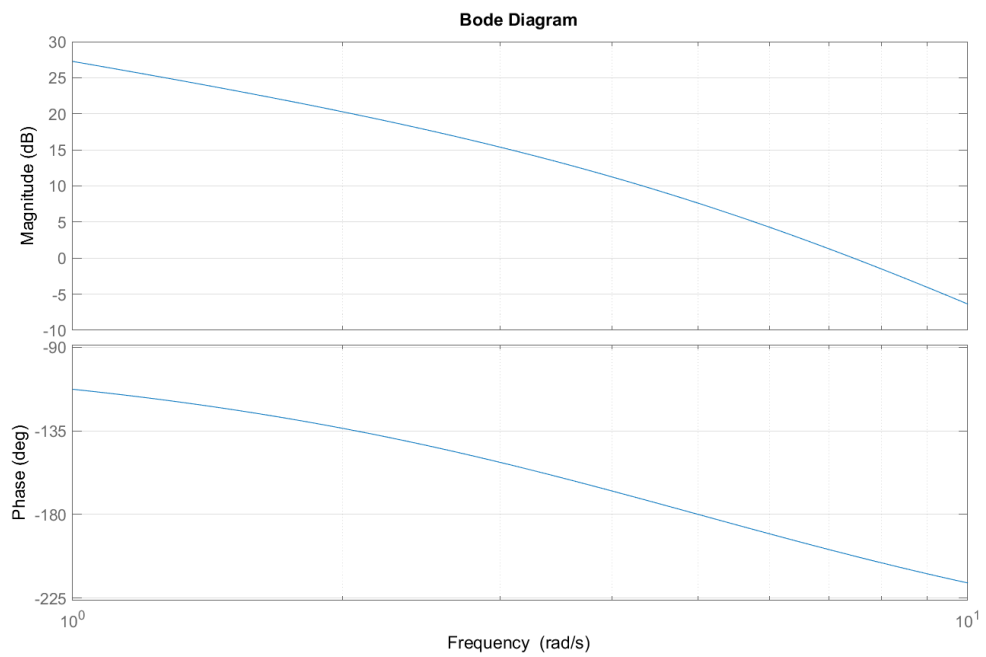
- (b) Tag fram en styrlag $u = -Lx + l_0r$ som placerar det slutna systemets poler i $-3 \pm i\sqrt{3}$ samt garanterar att man följer konstanta referenssignaler utan statiskt reglerfel. Använd den första modellen ovan. (5p)
- (c) Du är lite osäker på B-matrisen i din modell, och vill försäkra dig om att mindre fel i denna inte gör att vår styrlag leder till instabilitet vilket kan få katastrofala följder för fiskarnas välmående. Antag att den i verkligheten är $B = \begin{pmatrix} 0 \\ \beta \end{pmatrix}$ och visa för vilka β din styrlag stabiliserar systemet. (2p)

3. Vi ska utveckla ett reglersystem, och har bara fått ett Bodediagram givet, framtaget via experiment på systemet som ska regleras. Bodediagrammet för $G(s)$ finns i figur 1 samt zoomat i figur 2

- (a) Vad är skärfrekvensen och är återkopplade systemet stabilt om man reglerar det med en P-regulator där $F(s) = 1$? (2p)
- (b) Vi generaliserar och använder en P-regulator $F(s) = K_P$. Vad kan man högst välja K_P till om man vill få en fasmarginal på minst 45° . (2p)
- (c) Antag att man använder PD-regulatorn $F(s) = \frac{4}{5}(1 + 0.1s)$. Verifiera att skärfrekvensen fortfarande blir samma som i (a) samt att det återkopplade systemet är stabilt (om man läser av med någorlunda god noggrannhet skall detta stämma). Ledning: Vad händer med faser och absolutbelopp när man multiplicerar komplexa tal... (4p)
- (d) Argumentera för att systemet innehåller en eller flera poler i origo, och hur många dessa är. (2p)



Figur 1: Bodediagram för $G(s)$ i uppgift 3.



Figur 2: Inzoomat Bodediagram för $G(s)$ i uppgift 3.

4. Ett nytt företag *Kattenkraft* ska ge sig in på kraftproduktionsmarknaden och tjäna pengar. De har köpt en vattenkraftstation och har för avsikt att öka vinstmarginaler genom att förbättra regleringen så att de snabbare och mer exakt kan justera effektproduktionen (minska produktion och spara på vattnet när priset sjunker, och sedan snabbt öka produktionen när priset stiger).

Effekten $y(t)$ som levereras påverkas av hur mycket en ventil i vattenrören är öppnad, vilket kan justeras med en styrsignal $u(t)$. De har sedan tidigare tagit fram en modell

$$Y(s) = \frac{-2s + 1}{s^2 + 3s + 1}U(s)$$

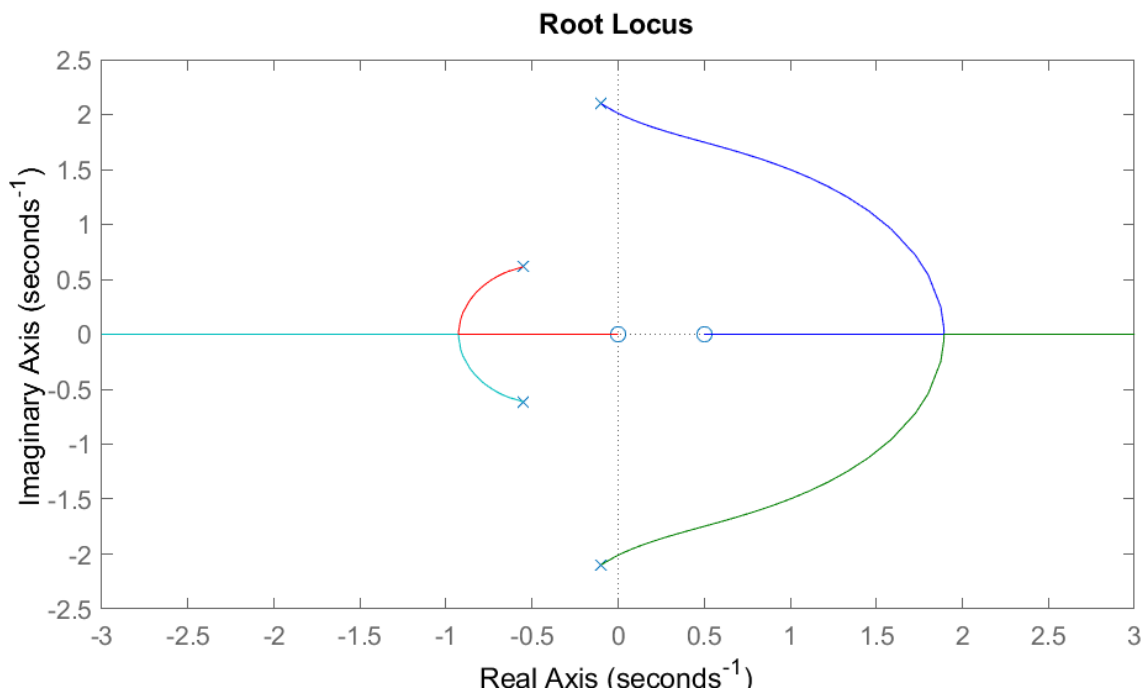
Du har tagits in som reglerkonsult för att hjälpa till med utvecklingen av ett regelsystem.

- (a) Ägarna som läst en grundkurs i reglerteknik har föreslagit att du ska använda P-reglering för att styra effektproduktionen $y(t)$ från en begärd produktion $r(t)$. De har hört att det blir snabbare (mer pengar!) ju högre man väljer förstärkningen K_P , och drar därför slutsatsen att man kan göra systemet godtyckligt snabbt (mest pengar!) genom att välja förstärkningen enormt stor. Visa genom analys av slutna systemet att de dragit förhastade slutsatser och att det finns en fundamental begränsning i val av K_P . (4p)
- (b) Vad för karakteristiskt egenskap i det öppna systemets dynamik är det som gör att det finns en begränsning på förstärkningen? (1p)
- (c) Du har implementerat en första P-regulator och visat på resultaten för ägarna. De är inte imponerade, och påstår att det statiska reglerfelet vid konstanta referensändringar blir större när man kopplar in din P-regulator (med $K_P > 0$) jämfört med när man körde öppen styrning $u(t) = r(t)$. Visa att de faktiskt har rätt. (2p)
- (d) Du går trots allt vidare med arbetet och landar i att använda $K_P = \frac{1}{2}$. Kollegorna som utvecklat modellen berättar nu nervöst att de är osäkra på modellen och att den kanske är lite fel, särskilt i frekvensområdet 100 rad/s pga diverse svårmodellerade effekter från turbulens. Detta gör dig dock inte särskilt orolig, förklara varför. (3p)

5. Denna uppgift kräver till skillnad från tidigare uppgifter ej motivering, utan din uppgift är bara att genomföra lämpliga analyser och beräkningar och sedan enbart svara **Ja**, **Nej**, eller **Går ej att avgöra** och inget annat på de fem frågorna. Du måste dock lita på din analys, då felaktigt svar ger en negativ poäng (dvs -1p istället). Du kan naturligtvis avstå att svara på frågan och får då 0p. Du kan ej få mindre än 0p totalt på hela uppgiften.

Ett system $G(s)$ skall regleras med en PD-regulator $F(s) = 1 + K_D s$. Till ditt förfogande på nästa sida har du en rotort för slutna systemet m.a.p förstärkningen $K_D > 0$. Det enda du vet om $G(s)$ är alla poler och nollställen är unika (dvs det har ej flera likadana poler eller nollställen) samt att det har fler poler än nollställen.

- (a) $G(s)$ har två nollställen (2p)
- (b) $G(s)$ har fyra poler (2p)
- (c) Genom att välja K_D tillräckligt litet garanteras stabilitet (2p)
- (d) Det finns ett val av K_D som stabiliserar systemet med två reella poler i slutna systemet (2p)
- (e) För $K_D > 2$ så kan man med säkerhet säga att alla poler blir reella (2p)



Figur 3: Rotort i uppgift 5.