TENTAMEN I TSRT12 REGLERTEKNIK

SAL: TER1, TER2, U3

TID: 2023-03-22 kl. 08:00-13:00

KURS: TSRT12 Reglerteknik

PROVKOD: TEN1

INSTITUTION: ISY

ANTAL UPPGIFTER: 5

ANSVARIG LÄRARE: Daniel Axehill, tel. 013-284042, 0708-783670

BESÖKER SALEN: cirka kl. 09:00 och 11:00

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

TILLÅTNA HJÄLPMEDEL: Läroboken Glad-Ljung: ”Reglerteknik, grundläggande teori” med normala inläsningsanteckningar, Kompletterande kompendium: Martin Enqvist: ”En introduktion till lärande reglering - Förstärkningsinlärning eller hur man tar fram en optimal tillståndsåterkoppling utan en modell av systemet”, tabeller, formelsamling, räknedosa (ej dator, telefon, surfplatta, osv.) utan färdiga program.

LÖSNINGSFÖRSLAG: Finns på kursens websida efter skrivningens slut.

VISNING av tentan äger rum 2023-04-14, kl. 12.30–13.00 i Ljungeln, B-huset, mellan ingång 25 och 27, A-korridoren.

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 motivering ger poängavdrag.

Lycka till!

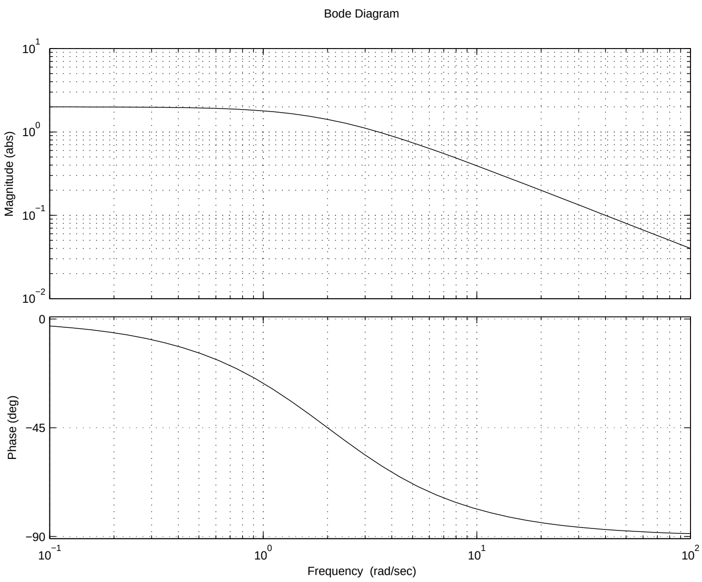
1. (a) Ett system beskrivs av sambandet

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

och har bodediagrammet som visas i figur 1. Antag att insignalen till systemet ges av

$$u(t) = \sin 5t$$

Vad blir utsignalen efter att den transienta delen av utsignalen dött ut? Hur mycket, uttryckt i sekunder, kommer utsignalen att vara förskjuten relativt insignalen? (3p)



Figur 1: Bodediagram till uppgift 1a.

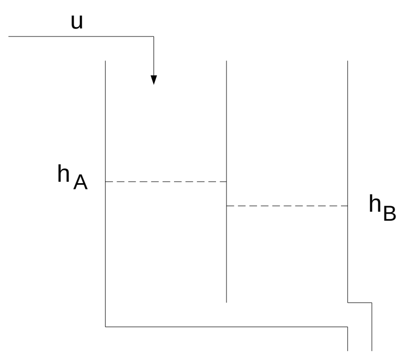
(b) Ett system består av två sammankopplade vattentankar enligt figur 2. Nivåerna i tankarna betecknas $h_A(t)$ respektive $h_B(t)$ och kan approximativt beskrivas av ekvationerna

$$\dot{h}_A(t) = -\alpha(h_A(t) - h_B(t)) + u(t)$$

och

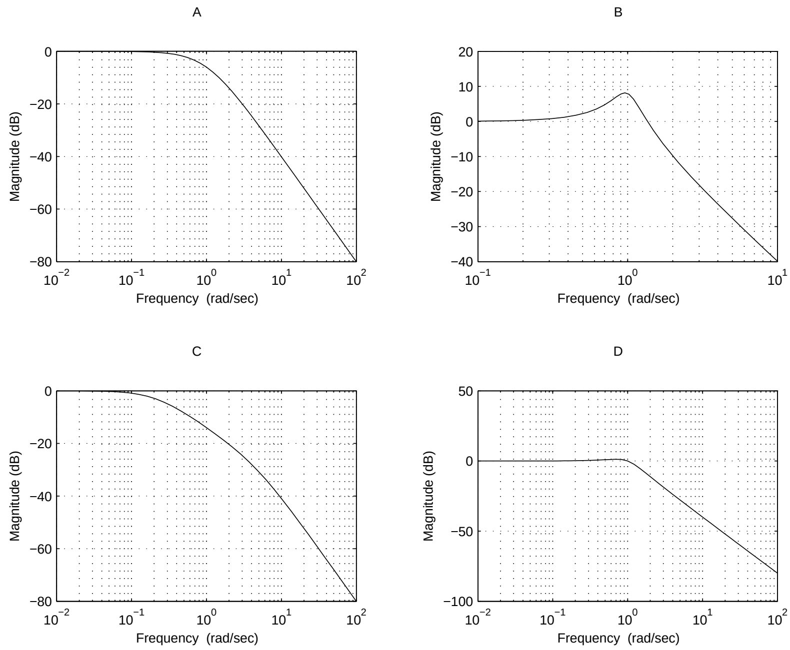
$$\dot{h}_B(t) = \alpha(h_A(t) - h_B(t)) - \beta h_B(t)$$

där konstanterna α och β beror av egenskapena hos förbindelsen mellan tankarna samt utloppet, och $u(t)$ betecknar insignalen. Ange överföringsfunktionen från insignalen $u(t)$ till nivån i tank A, d.v.s. $h_A(t)$. Antag $\alpha = \beta = 1$. (3p)

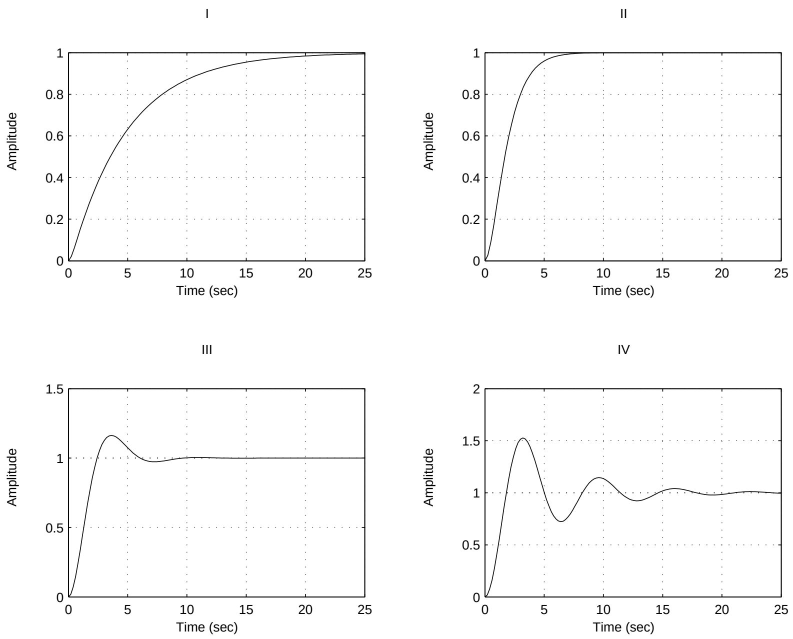


Figur 2: Figur till uppgift 1b.

(c) I figurerna 3 och 4 visas stegsvar respektive bodediagram för fyra system. Kombinera stegsvaren och bodediagrammen. (4p)



Figur 3: Bodediagram till uppgift 1c.



Figur 4: Stegsvar till uppgift 1c.

2. (a) Vilka tre faktorer är det i praktiken som förhindrar att man kan skapa reglersystem med godtyckligt bra prestanda? (3p)

(b) Ett system beskrivs på tillståndsform av ekvationerna

$$\dot{x}(t) = \begin{pmatrix} -2 & -1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} x(t) + \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} u(t) \qquad y(t) = \begin{pmatrix} 1 & 4 \end{pmatrix} x(t)$$

Systemet styrs med återkopplingen

$$u(t) = -2x_1(t) - 3x_2(t) + r(t)$$

Ange det återkopplade systemets poler och nollställen. (3p)

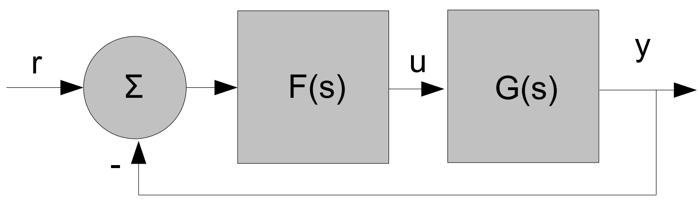
(c) Antag att ett system

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

styrs med PID-återkopplingen

$$U(s) = (K_P + K_I \frac{1}{s} + K_D s)(R(s) - Y(s))$$

enligt figuren nedan



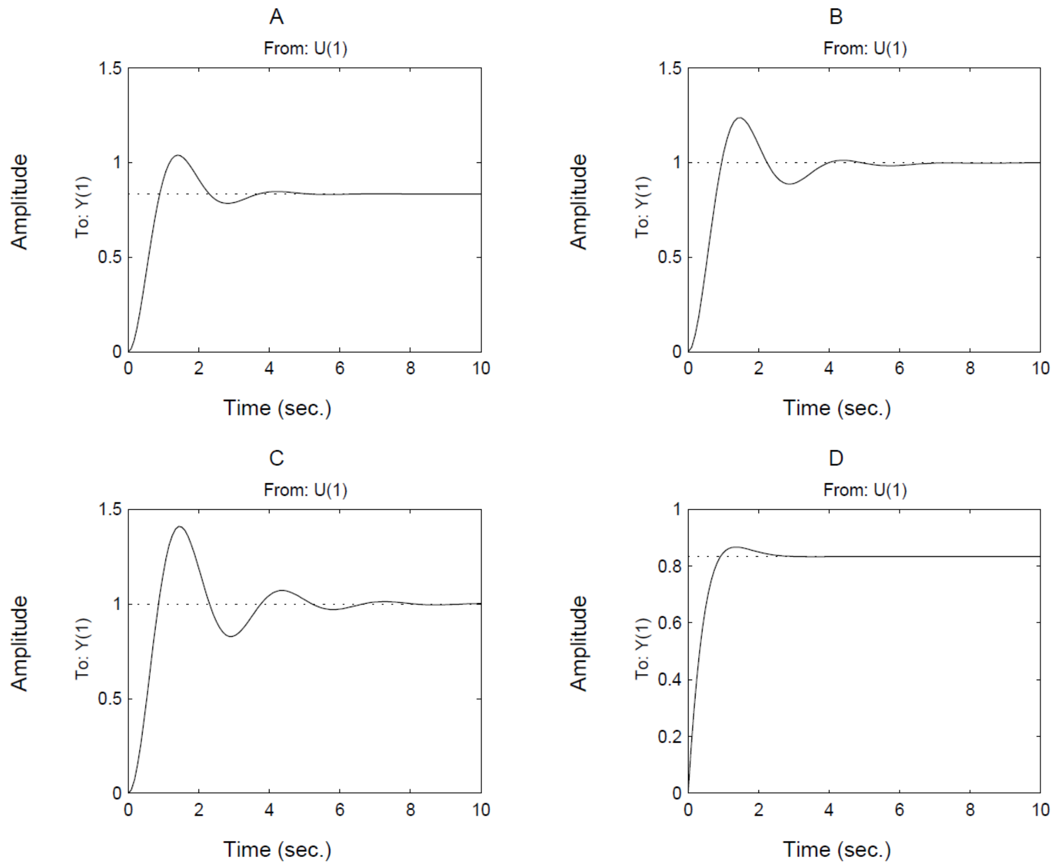
Figur 5: Reglersystem

I figurerna på nästa sida visas det återkopplade systemets stegsvar för följande fyra inställningar på parametrarna K_P, K_I respektive K_D.

(*i*) $K_P = 5 \quad K_I = 4 \quad K_D = 0$ (*ii*) $K_P = 5 \quad K_I = 2 \quad K_D = 0$

(*iii*) $K_P = 5 \quad K_I = 0 \quad K_D = 2$ (*iv*) $K_P = 5 \quad K_I = 0 \quad K_D = 0$

Kombinera stegsvaren med parametervärdena. Motivera! (4p)



Figur 6: Stegsvar till uppgift 2c.

3. Ett mekaniskt system beskrivs med modellen

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

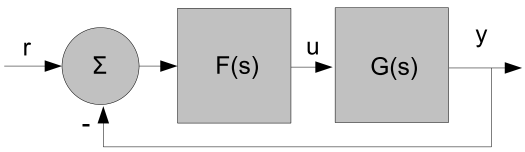
där

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

Systemet ska styras med återkopplingen

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

enligt figur 7.



Figur 7: Reglersystem

$F(s)$ är en (approximativ) PD-återkoppling med överföringsfunktionen

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

där koefficienten $T > 0$ används för att göra PD-återkopplingen realiserbar i praktiken.

(a) Ange det återkopplade systemets karakteristiska ekvation. (2p)

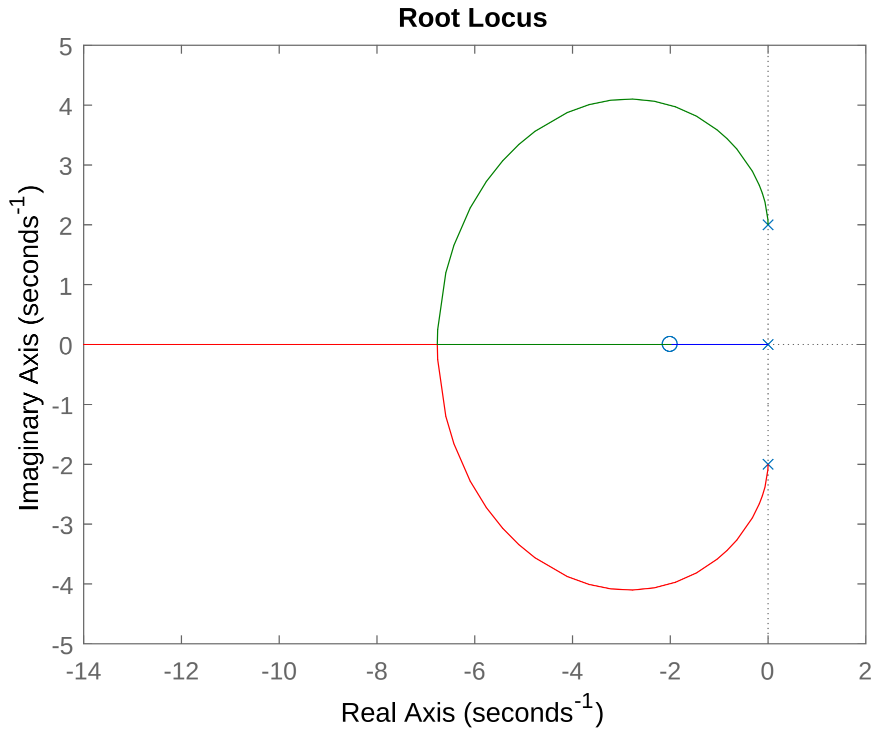
(b) Antag att $T = 0$. Bestäm koefficienterna K_P och K_D så att det återkopplade systemets poler placeras i -2. (3p)

(c) Antag nu att de koefficienter som bestämdes ovan används i fallet att $T > 0$. För att analysera hur det det återkopplade systemets egenskaper beror av T kan man nu använda rotortsmetoden. Inför $\alpha = 1/T$ och skriv den karakteristiska ekvationen på formen

$$P(s) + \alpha Q(s) = 0$$

Ange $P(s)$ och $Q(s)$. (1p)

(d) Figur 8 visar hur det återkopplade systemets poler förflyttar sig som funktion av α för $0 < \alpha < \infty$ (och därmed som funktion av T). Kan det återkopplade systemet bli instabilt för något värde på T ($0 < T < \infty$)? Hur beter sig det återkopplade systemets poler för små respektive stora värden på T? (4p)



Figur 8: Rotort

4. I den här uppgiften ska vi studera den longitudinella rörelsen för en rymdfarkost utmed en given bana i form av en linje. En tillståndsbeskrivning för systemet ges av

$$
\begin{aligned}
\dot{x}(t) &= \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 0 & -0.1 \end{pmatrix} x(t) + \begin{pmatrix} 0 \\ 0.1 \end{pmatrix} u(t) \\
y(t) &= \begin{pmatrix} 1 & 0 \end{pmatrix} x(t)
\end{aligned}
$$

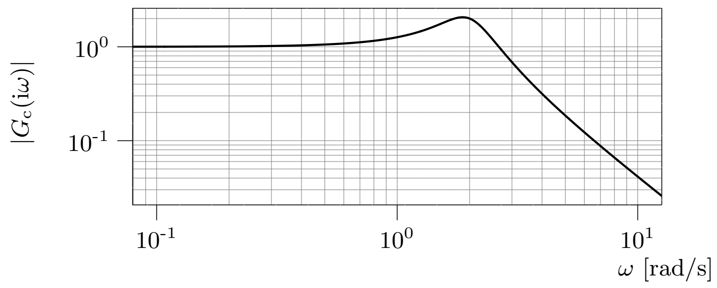
där x_1 är farkostens position utmed linjen, x_2 farkostens hastighet och u pålagd kraft.

(a) Kan man med en tillståndåterkoppling placera det återkopplade systemets poler godtyckligt? (2p)

(b) Antag att alla tillståndsvariabler kan mätas. Ta fram en tillståndsåterkoppling så att det återkopplade systemets poler är i -1 och $y = r$ stationärt. (3p)

(c) Antag att endast positionen $y(t)$ kan mätas. Kan man ta fram en observatör sådan att observatörsfelet avtar godtyckligt snabbt? Var skulle du placera observatörens poler och varför? (Du behöver inte ta fram observatören.) (3p)

(d) Antag att man kan välja mellan att mäta positionen $y(t)$ och hastigheten $\dot{y}(t)$. Finns det teoretiskt sett något skäl att föredra positionsmätning eller hastighetsmätning? (Du kan bortse från eventuella mättekniska problem och anta att det är lika lätt att mäta hastighet som position.) (2p)



Figur 9: Bodediagram för likströmsmotorn i uppgift 5.

5. Betrakta en likströmsmotor med överföringsfunktionen

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

som regleras med en P-regulator enligt

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

där $F(s) = 4$. Amplitudkurvan hos det återkopplade systemet

$$|G_c(i\omega)| = \left| \frac{F(i\omega)G(i\omega)}{1 + F(i\omega)G(i\omega)} \right|$$

ges av figur 9. Antag att det verkliga systemet ges av

$$G^0(s) = G(s)\frac{\alpha}{s+\alpha}, \quad \alpha > 0$$

och att regulatorn $F(s)$ används på systemet $G^0(s)$.

(a) Använd robusthetskriteriet för att avgöra för vilka α det slutna systemet är stabilt. (5p)

(b) Vilken slutsats gällande stabilitet kan vi med hjälp av robusthetskriteriet dra för de α som *inte* uppfyller robusthetskriteriet? (1p)

(c) Under användning av förstärkningsinlärning på (en tidsdiskret version av) systemet $G(s)$ på tillståndsform gjordes följande skattning av parametrarna i $\mathcal{Q}$-funktionen

$$\begin{pmatrix} S_{xx} & S_{xu} \\ S_{ux} & S_{uu} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 5 & 2 & 1 \\ 2 & 7 & 3 \\ 1 & 3 & 10 \end{pmatrix}$$

Vad blir det numeriska värdet på den uppdaterade tillståndsåterkopplingen L_{ny} i styrlagen $u_k = -L_{\text{ny}} x_k$? (3p)

(d) Nämn en fördel med ”vanlig” LQ-reglering relativt förstärkningsinlärning för LQ-reglering. (1p)