

TENTAMEN I TSRT22, TSRT19 REGLERTEKNIK

SAL:

TID: 2022-10-28 kl. 8:00-13:00

KURS: TSRT22, TSRT19 Reglerteknik

PROVKOD: TEN1

INSTITUTION: ISY

ANTAL UPPGIFTER: 5

ANSVARIG LÄRARE: Svante Gunnarsson, tel. 013-281747,070-3994847

BESÖKER SALEN: cirka kl. 9:00, 10:30 och 12:00

KURSADMINISTRATÖR: Ninna Stensgård, 013-282225,
ninna.stensgard@liu.se

TILLÅTNA HJÄLPMEDEL:

1. *T. Glad & L. Ljung*: "Reglerteknik. Grundläggande teori".
2. *M. Enqvist*: "En introduktion till lärande reglering".
3. Tabeller och formelsamlingar, t.ex.:
 - L. Råde & B. Westergren*: "Mathematics handbook",
 - C. Nordling & J. Österman*: "Physics handbook",
 - S. Söderkvist*: "Formler & tabeller"
 - Division of Automatic Control*: "Laplace table for control theory"
4. Miniräknare.
Normala inläsningsanteckningar får finnas i boken.

LÖSNINGSFÖRSLAG: Läggs upp i kursrummet Lisam efter tentan.

VISNING av tentan äger rum 2022-11-29, 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) De nyutexaminerade civilingenjörerna Ivar och EMMa är på sin första tjänsteresa på väg till Sydostasien. De sitter bekvämt tillbakalutande på övervåningen i en Singapore Airlines Airbus A380. Autopiloten är igång och flygplanet glider fram i den mörka natten utan att piloterna behöver röra spakarna. Flygplanet och autopiloten bildar ett återkopplat reglersystem. Ge exempel på styrsignal $u(t)$, utsignal $y(t)$ och störsignal $v(t)$ för detta reglersystem. (3p)
- (b) Stigtiden för ett system definieras som den tid det tar för stegsvaret att gå från 10% till 90% av sitt slutvärde. Betrakta nu ett system ges av differentialekvationen

$$\dot{y}(t) = y(t) + 4u(t)$$

Vilken stigtid har systemet? (2p)

- (c) Ett system beskrivs av modellen

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

där

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

Systemet styrs med återkopplingen

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

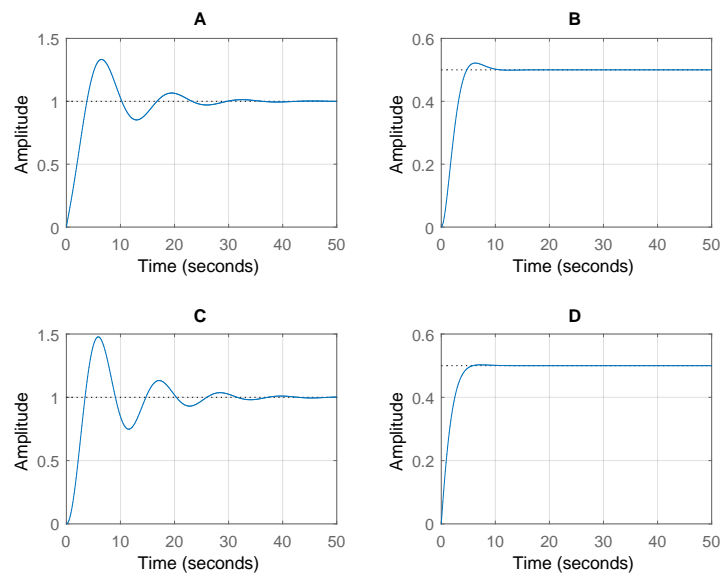
där

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

Ange det återkopplade systemets karakteristiska ekvation. (3p)

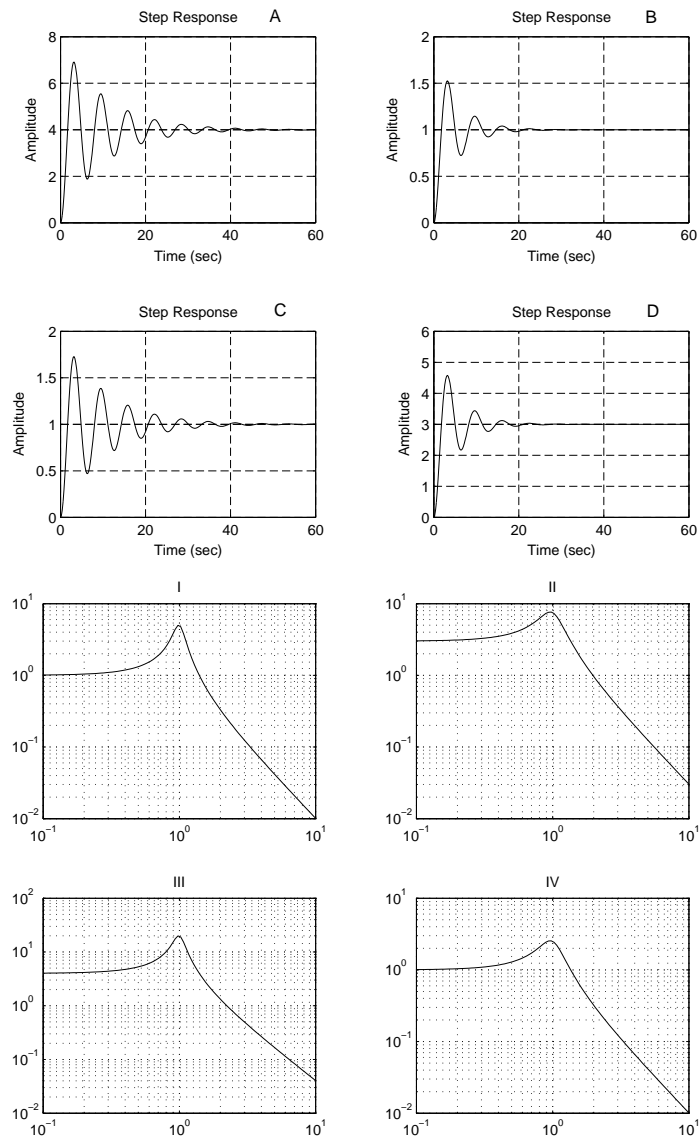
- (d) Figur 1 visar det återkopplade systemets stegsvar, när referenssignalen är ett steg med amplitud ett, för fyra olika kombinationer av koefficienterna K_P , K_I och K_D . Kombinera koefficientvärdena med figurerna. (4p)

- (i) $K_P = 1, K_I = 0, K_D = 0$ (ii) $K_P = 1, K_I = 1, K_D = 0$
 (iii) $K_P = 1, K_I = 0, K_D = 1$ (iv) $K_P = 1, K_I = 1, K_D = 1$



Figur 1: Stegsvär till uppgift 1 d.

2. (a) I figur 2 visas stegsvar och Bodediagram för fyra system. Kombinera stegsvaren och Bodediagrammen. (4p)



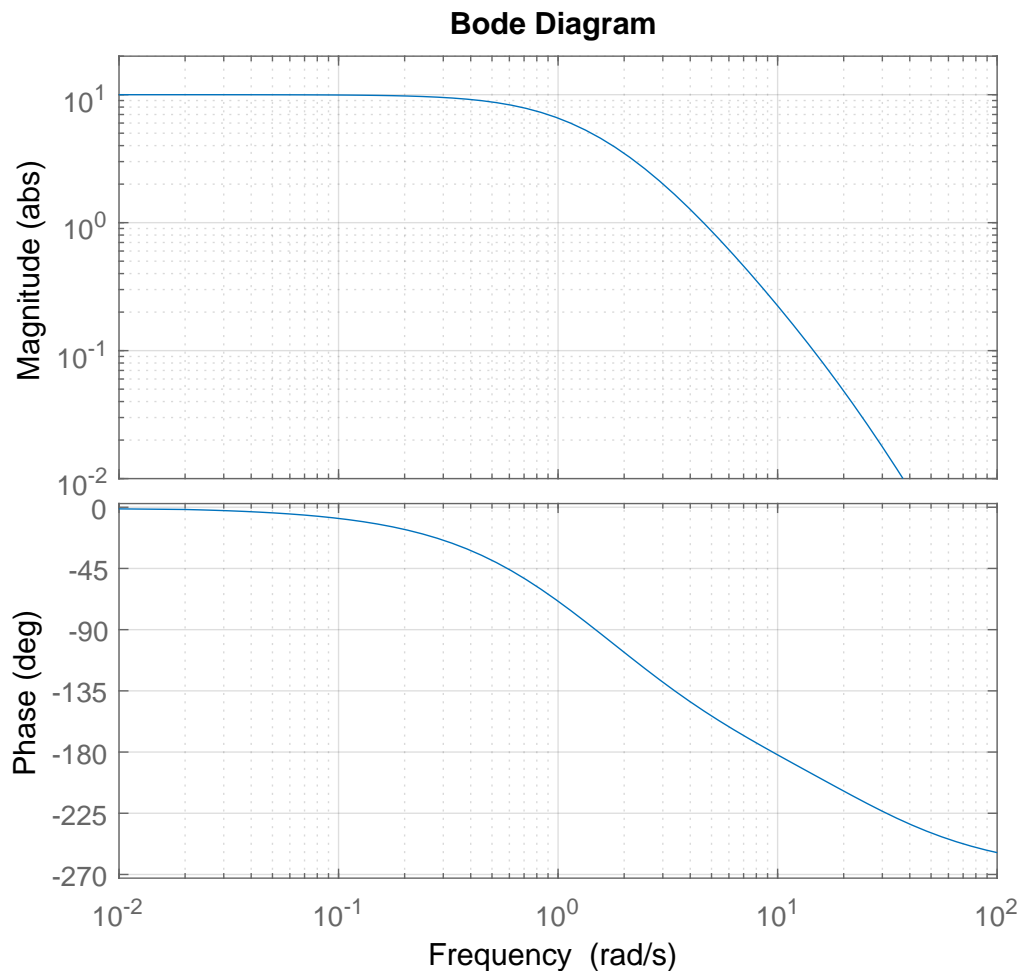
Figur 2: Stegsvvar och Bodediagram till uppgift 2 a.

- (b) Ett system beskrivs av modellen $Y(s) = G(s)U(s)$ där frekvensfunktionen för $G(s)$ visas i Bodediagrammet i figur 3. Systemet styrs med återkopplingen

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

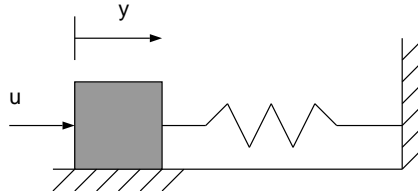
Antag att man använder $K = 0.5$ Besvara följande frågor:

- Vad blir det öppna systemets fasmarginal och vad blir felkoefficienten e_0 ?
- Antag nu att mätningen av y tidsfördröjs T sekunder. Hur stort kan T vara som mest innan det återkopplade systemet blir instabilt? (4p)



Figur 3: Bodediagram till uppgift 2 b.

3. Ett mekaniskt system, återgivet i figur 4, består av en massa som rör sig på ett horisontellt plan under inverkan av en yttre kraft $u(t)$. Massan påverkas även av en kraft p g a friktion mot underlaget samt kraften från en fjäder mellan massan och en vägg.



Figur 4: Mekaniskt system

Systemet beskrivs av differentialekvationen

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

där $y(t)$ betecknar massans position och där $y(t) = 0$ anger massans viloläge då $u(t) = 0$. Konstanterna m, k och b betecknar massa, fjäderkonstant respektive friktionskoefficient.

- (a) Antag att man använder tillståndsvariablerna $x_1(t) = y(t)$ och $x_2(t) = \dot{y}(t)$. Verifiera att systemet beskrivs på tillståndsform av modellen nedan. (1p)

$$\dot{x}(t) = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -\frac{k}{m} & -\frac{b}{m} \end{pmatrix} x(t) + \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{1}{m} \end{pmatrix} u(t) \quad y(t) = \begin{pmatrix} 1 & 0 \end{pmatrix} x(t)$$

- (b) För vilka värden på b har systemet reella poler? (2p)
- (c) Antag att $m = k = 1$ och $b = 0.5$. Bestäm en positionsreglering i form av en tillståndsåterkoppling på formen

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

sådan att det återkopplade systemets poler placeras i -2 . (3p)

- (d) Antag att $r(t)$ är ett steg med amplituden ett. Vad blir utsignalen $y(t)$ när massan ställt in sig i sin nya position, och hur stor blir insignalen (kraften) i stationärt tillstånd? (3p)

- (e) Antag att man vill bestämma återkopplingsvektorn L med lärande reglering så att kriteriet

$$J_k = \frac{1}{2} \sum_{i=k}^{\infty} 10x_{1,i}^2 + 0.1x_{2,i}^2 + 5u_i^2 + 2x_{i,1}x_{i,2}$$

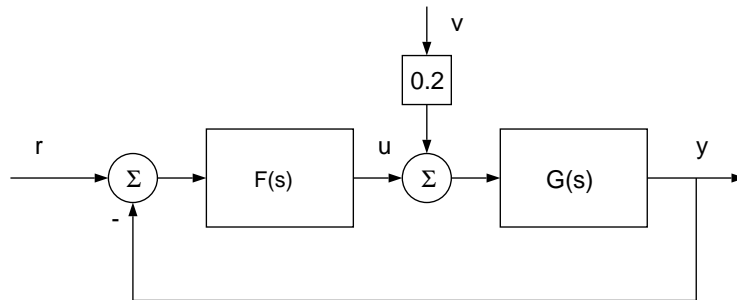
minimeras. Vilket val av matriserna Q och R motsvarar detta i uttrycket nedan? (1p)

$$J_k = \frac{1}{2} \sum_{i=k}^{\infty} x_i^T Q x_i + u_i^T R u_i$$

4. Betrakta reglersystemet i figur 5 där överföringsfunktionen från u till y i det här fallet ges av

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

Antag att temperaturen styrs med återkoppling enligt figuren nedan.



Figur 5: Reglersystem

- (a) Antag att systemet styrs med proportionell återkoppling

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

d v s $F(s) = K$. Bestäm överföringsfunktionen från v till reglerfelet e . (3p)

- (b) Antag att störningen v varierar sinusformat enligt $v(t) = \sin 0.1t$ och att $r(t) = 0$. Hur ska K väljas för att man ska uppnå att $|e(t)| \leq 0.1$ i stationärt tillstånd? (3p)

- (c) Antag att det även finns ett krav att den relativa dämpningen hos polerna till det återkopplade systemet ska vara större än 0.7. Vad ger det för krav på K ? Kan kraven i uppgifterna b och c uppfyllas samtidigt? (4p)

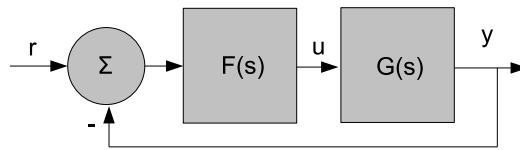
5. Ett system antas beskrivas av modellen

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

Systemet styrs med proportionell återkoppling

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

där $F(s) = K$ enligt figur 6.



Figur 6: Reglersystem

(a) Antag att systemet i verkligheten beskrivs av

$$G^0(s) = \frac{(1 + \alpha)}{s(s+1)}$$

där α är en okänd positiv konstant, och att man använder förstärkningen $K = 4$ i återkopplingen. För vilka värden på α är det återkopplade systemet asymptotiskt stabilt med denna återkoppling. (3p)

(b) Antag nu att man vill analysera inverkan av den okända konstanten α via robusthetskriteriet i läroboken. Vilket relativt modellfel $\Delta G(s)$ motsvarar den okända konstanten α . (1p)

(c) Vilket krav på α (ett numeriskt värde önskas) ger lärobokens robusthetskriterium för att man ska kunna garantera att det återkopplade systemet är stabilt när man styr systemet $G^0(s)$ med återkopplingen $F(s) = 4$. (4p)

(d) Kommentera eventuella skillnader mellan villkoren i a) och c). (2p)