

# TENTAMEN I REGLERTEKNIK

SAL: G33, G34, G35, G36, G37, KÅRA

TID: 16 mars 2016, klockan 8 – 13

KURS: TSRT19, Reglerteknik

PROVKOD: TEN1

INSTITUTION: ISY

ANTAL UPPGIFTER: 5

ANTAL SIDOR PÅ TENTAMEN (INKLUSIVE FÖRSÄTTSLAD): 8

ANSVARIG LÄRARE: Inger Erlander-Klein, tel 013-281665, 0730-916919

BESÖKER SALEN: 9:00, 10:30, 12:00

KURSADMINISTRATÖR: Ninna Stensgård, tel 013-282225, [ninna.stensgard@liu.se](mailto:ninna.stensgard@liu.se)

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

LÖSNINGSFÖRSLAG: Anslås efter tentamen på kursens hemsida.

VISNING av tentan äger rum 2016-04-21 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) För ett system  $Y(s) = G(s)U(s)$  gäller att

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

Antag att  $u(t) = \sin t$ . Vad blir  $y(t)$  då alla transienter har försvunnit? (2p)

- (b) Betrakta systemet

$$Y(s) = \frac{s+1}{s^2+8s+15}U(s)$$

- Vilka poler och nollställen har systemet?
- Skriv systemet på tillståndsform.

(4p)

- (c) Vilka av nedanstående system är linjära? Motivera ditt svar.

- $\dot{y}(t) + 3y(t) = u(t)$
- $\dot{y}(t) + 3y^2(t) = u(t)$
- $\dot{y}(t) + 3y(t) = u(t) + 1$
- $\ddot{y}(t) + 2\dot{y}(t) + 3y(t) = \dot{u}(t) + u(t)$
- $\ddot{y}(t) + 2\dot{y}(t) = \frac{u(t)}{y(t)}$

(4p)

2. (a) Vilka tre faktorer begränsar i praktiken möjligheten att åstadkomma en godtyckligt bra regulator? (3p)

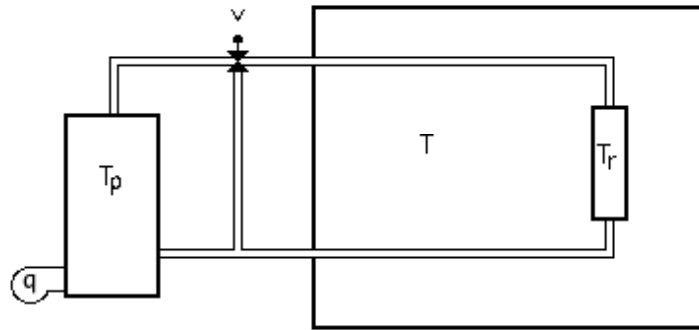
- (b) Betrakta systemet

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

Antag att det regleras med tillståndsåterkopplingen  $u(t) = -Lx(t) + l_0r(t)$ . Bestäm  $L$  och  $l_0$  så att det återkopplade systemet får egenvärden i  $-2$  och  $y = r$  stationärt då  $r = 1$ . (3p)

- (c) Ett givet system styrs med P-återkoppling  $U(s) = K(R(s) - Y(s))$ . I figur 4 finns rotorten för det återkopplade systemets poler med avseende på  $K > 0$ . I figur 3 finns stegsvar för fyra olika värden på  $K$ . Markera i rotorten för respektive stegsvar tänkbara värden på  $K$ . Motivera och lämna in även din rotort med markeringar! (Obs! Figurerna finnas i slutet av tentan!) (4p)

3. Alla uppgifter nedan kommer att vara relaterade till vattenburen uppvärmning av ett hus (se skiss av systemet i Figur 1). Uppvärmningen fungerar som beskrives nedan. Värmepannan tillförs en viss effekt via en brännare eller ett elektriskt element. Denna effekt brukar bero främst på utomhustemperaturen via en framkoppling. Pannvattnet får härvid en viss temperatur. Vattnet ut till radiatorerna är en blandning av pannvattnet och det vatten som kommer tillbaka från radiatorerna. Blandningen styrs med hjälp av en shuntventil. Det vatten som kommer tillbaka från radiatorerna och inte går via shuntventilen direkt ut till radiatorerna igen, går tillbaka till pannan för uppvärmning.



Figur 1: Skiss för systemet med vattenburen uppvärmning av ett hus.

Systemet kan approximeras med ett linjärt system kring en arbetspunkt. Med tillståndet  $z = [\Delta T \quad \Delta T_p]^T$  fås tillståndsbeskrivningen

$$\frac{dz}{dt} = \begin{bmatrix} -2/15 & 1/30 \\ 1/3 & -1/3 \end{bmatrix} z + \begin{bmatrix} 8/3 \\ -80/3 \end{bmatrix} u_1 + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} u_2 + \begin{bmatrix} 1/10 \\ 0 \end{bmatrix} w \quad (1)$$

där alla signaler anger avvikelser från arbetspunkten:  $\Delta T$  är inomhustemperaturen,  $\Delta T_p$  är värmepannans temperatur,  $w$  är utomhustemperaturen,  $u_2$  är den effekt som tillförs värmepannan och  $u_1$  är shuntventilens läge,  $0 \leq u_1 \leq 1$ .

- (a) Är systemet som beskriver  $z$  i (1) styrbart med  $u_1$  som styrsignal? *Ledning:* Sätt  $u_2 = 0$  och  $w = 0$  i (1) (5p)
- (b) Visa att överföringsfunktionerna från  $U_1(s)$ ,  $U_2(s)$  och  $W(s)$  till  $Z_1(s)$  ges av

$$Z_1(s) = \frac{80s}{30s^2 + 14s + 1} U_1(s) + \frac{1}{30s^2 + 14s + 1} U_2(s) + \frac{3s + 1}{30s^2 + 14s + 1} W(s) \quad (2)$$

där  $U_1(s)$ ,  $U_2(s)$ ,  $W(s)$  och  $Z(s) = [Z_1(s) \quad Z_2(s)]^T$  är Laplacetransformer av  $u_1$ ,  $u_2$ ,  $w$  och  $z$ . (5p)

4. Betrakta återigen uppvärmningen av ett hus som beskrevs i uppgift 3. För att reglera inomhustemperaturen brukar man vanligen mäta inomhustemperaturen och göra återkoppling till shuntventilen. Antag alltså att  $Z_1(s)$  i (2) skall regleras med hjälp av enbart  $U_1(s)$ , d.v.s. antag att  $U_2(s) = 0$ . Målet med regleringen är att  $Z_1(s)$  skall vara 0 i stationaritet om  $w$  är konstant.

- (a) Visa att detta ej går att uppfylla med en P-regulator

$$U_1(s) = -K Z_1(s)$$

där  $K \geq 0$  (3p)

- (b) Visa att detta ej heller går att uppfylla med en PI-regulator

$$U_1(s) = -K \left( 1 + \frac{1}{sT_i} \right) Z_1(s)$$

där  $K \geq 0$  och  $T_i > 0$ . (3p)

- (c) Vid uppvärmning av hus brukar man ofta ha en framkoppling från utomhustemperaturen till pannans tillförda effekt. Bestäm en konstant framkoppling från  $W(s)$  till  $U_2(s)$ , som eliminerar  $w$ 's inverkan på  $Z_1(s)$ , då  $w$  är konstant. Signalerna  $U_2(s)$  och  $W(s)$  är relaterade till  $Z_1(s)$  via ekvationen i (2). *Ledning:* Sätt  $U_1(s) = 0$  (2p)

- (d) Ofta kombinerar man framkoppling och återkoppling vid uppvärmning av hus. Motivera detta genom att beskriva såväl fördelar som nackdelar med dels framkopplingen deluppgift (d), dels återkoppling i deluppgift (a). (2p)

5. Betrakta återigen uppvärmningen av ett hus som beskrevs i uppgift 3. I (2) är tidsfördröjningarna i vattenledningarna från pannan till radiatorerna försummade. I Figuren ovan ses Bodediagrammet för överföringsfunktionen  $G_p(s)$  från  $U_2(s)$  till  $Z_1(s)$  när tidsfördröjningen är beaktad.

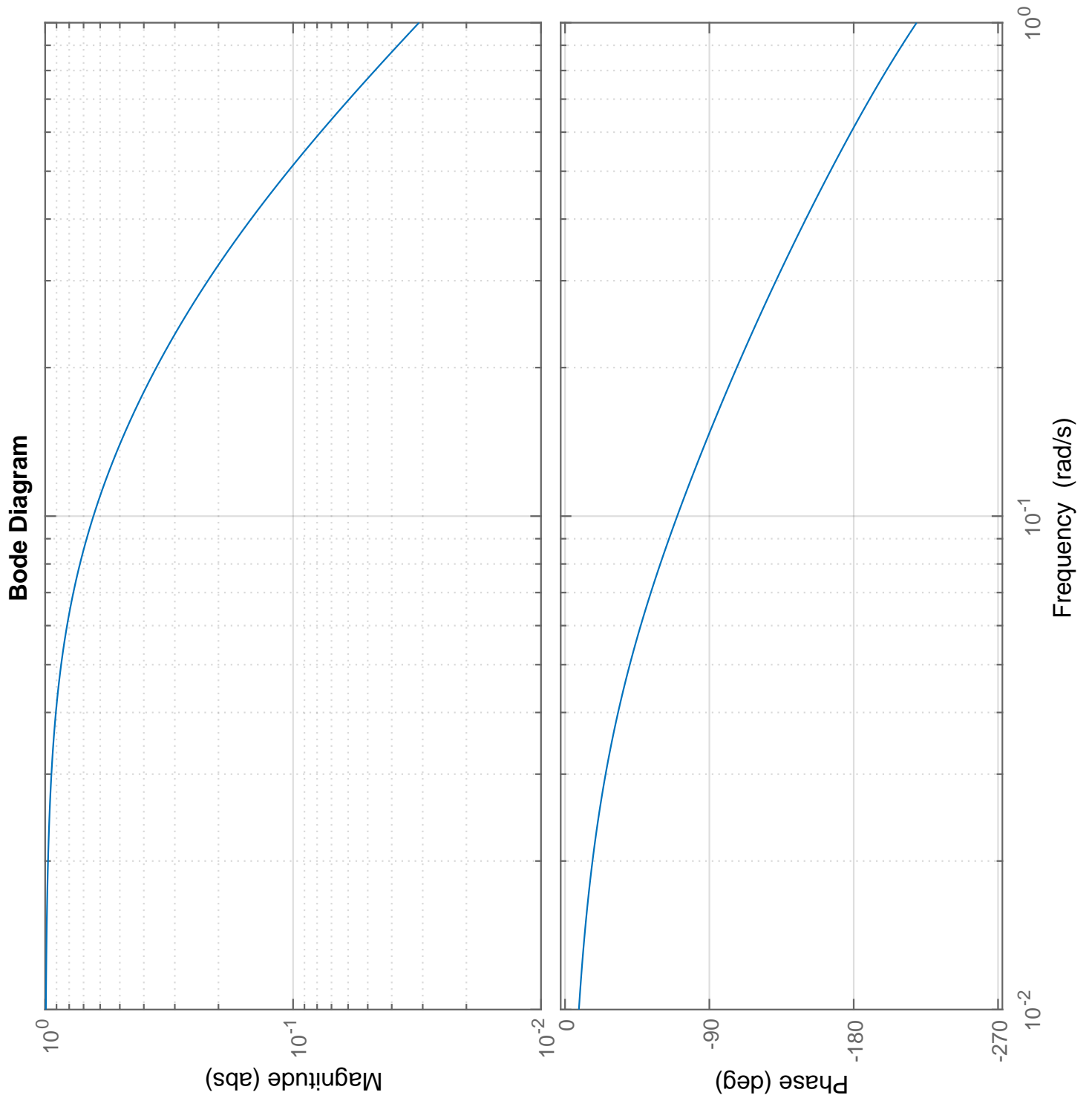
- (a) Beräkna amplitudmarginalen för överföringsfunktionen  $G_p(s)$  i figuren. Blir det återkopplade systemet stabilt, om man sluter kretsen med en P-regulator med förstärkning 1? (5p)

- (b) Bestäm en PD-regulator

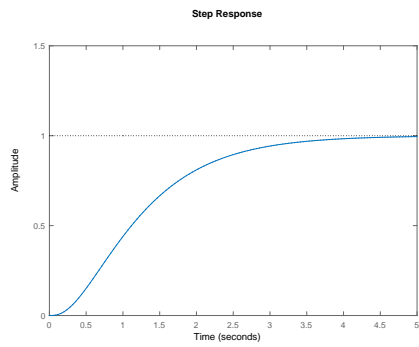
$$U_2(s) = -K(1 + T_D s) Z_1(s)$$

som gör att kretsförstärkningen får en skärfrekvens som är 0.4 radianer/s och en fasmarginal som är 60 grader. (5p)

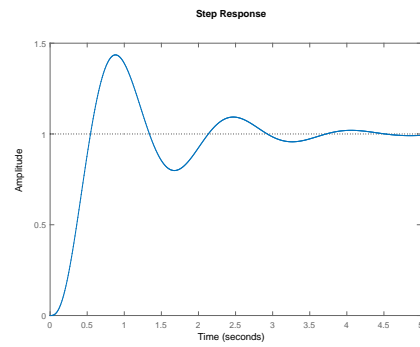
Den här sidan ska vara tom.



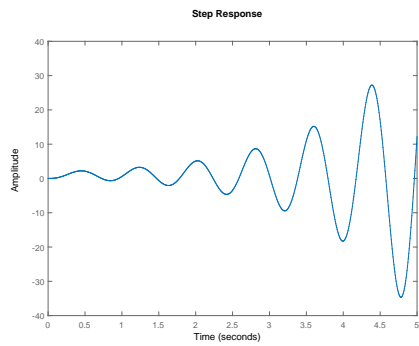
Figur 2: Bodediagram för  $G_P(s)$  i uppgift 5.



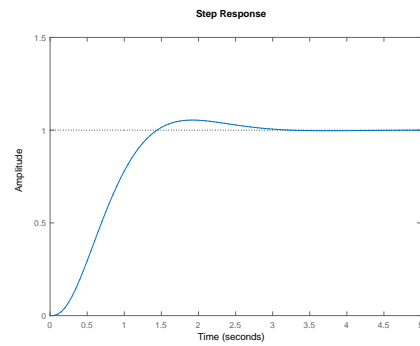
(a)



(b)



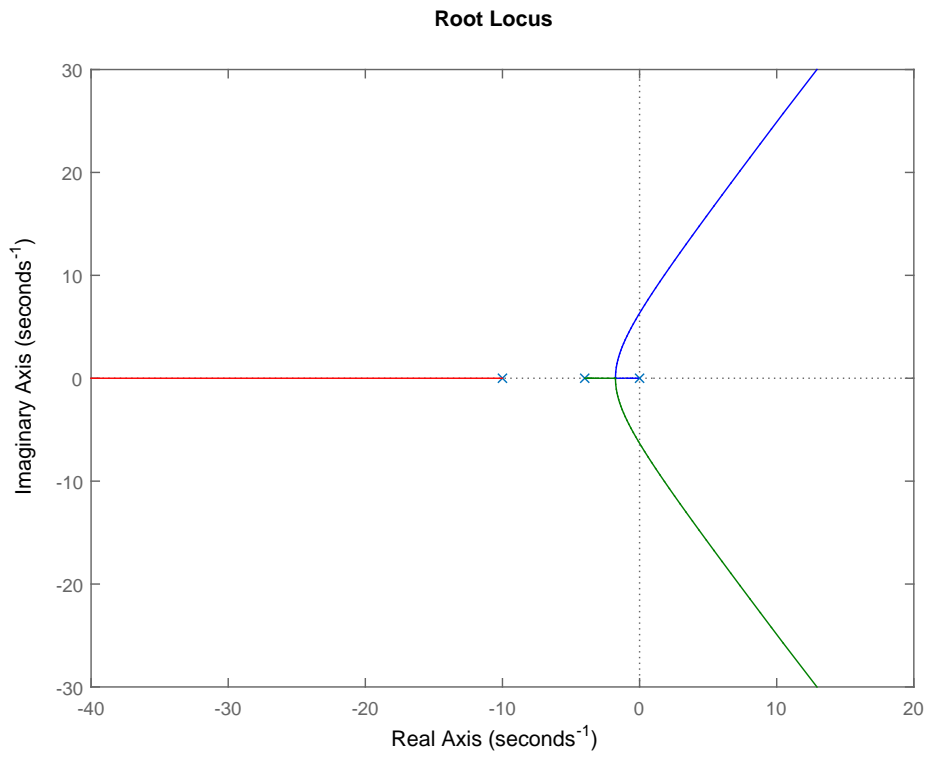
(c)



(d)

Figur 3: Stegsvär till uppgift 2c. Det är samma tidsskala i alla figurerna, och samma amplitudskala i alla utom (c).





Figur 4: Rotort med avseende på  $K > 0$  i uppgift 2c.