

# TENTAMEN I REGLERTEKNIK

SAL: T1,T2, U1, U2

TID: 30 juni 2017, klockan 14 - 19

KURS: TSRT19

PROVKOD: TEN1

INSTITUTION: ISY

ANTAL UPPGIFTER: 5

ANSVARIG LÄRARE: Johan Löfberg, 070-3113019

BESÖKER SALEN: 15.30, 17.30

KURSADMINISTRATÖR: Ninna Stensgård, tel 013-284725, [ninna.stensgard@liu.se](mailto: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) Den biologiska reningen i ett avloppsreningsverk går ut på att man låter bakterier bryta ned organiskt material som finns i avloppsvattnet. För att bakterierna ska kunna göra det behöver de ha tillgång till syre och det finns därför stora bassänger där avloppsslammet syresätts genom att luft pumpas in med en stor pump, vilket kräver mycket energi. Syrehalten i slammet som kommer till reningsverket varierar över tiden och med utomhustemperaturen men en enkel strategi för syresättningen är att man kör pumpen för fullt hela tiden. Ibland har man dock en sensor som mäter den faktiska syrehalten i slammet. Förklara hur man då, på ett reglertekniskt språk, kan gå tillväga för att med hjälp av reglerteknik få en energieffektivare och sålunda miljövänligare syresättning i reningsverket. (3p)
- (b) Hederlige Harry har gett sig in i elektronikbranchen och säljer nu utrustning för musikstudion. I databladet till en sångmikrofon läser du att den påstås ha, på reglertekniskt språk, en överföringsfunktion från sång till inspelad signal  $\frac{1}{\frac{s}{2\pi}+1}$ . Är detta ett bra köp? Som referens kan det vara bra att veta att det mänskliga örat kan uppfatta ljud mellan 20Hz och 20000Hz, dvs  $40\pi$  rad/s till  $40000\pi$  rad/s. (2p)
- (c) Hur många tillståndvariabler behövs för att realisera följande modell i tillståndsform

$$G(s) = \frac{(s+1)^2(s+2)^2}{s(s+3)^5}$$

(1p)

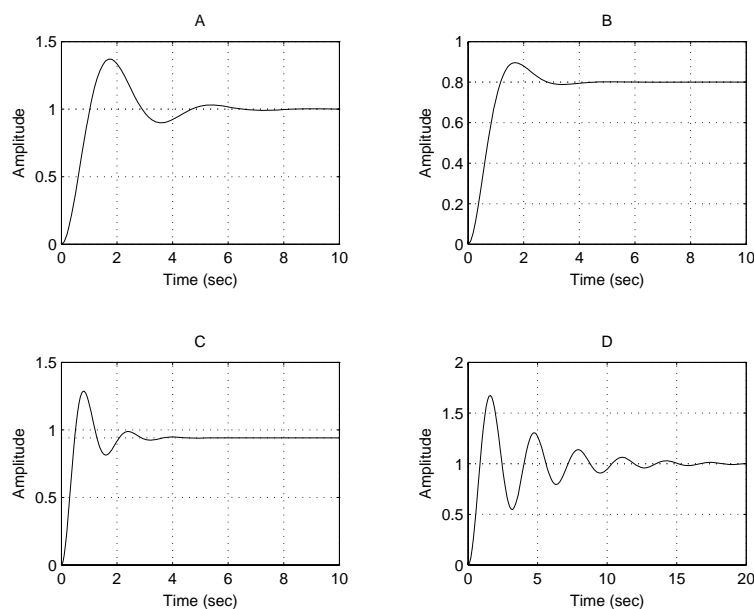
- (d) Är någon, båda eller ingen av de två regulatorerna  $F_1(s) = \frac{2s+3}{s} + s$  och  $F_2(s) = \frac{s^2+s+10}{s^2}$  PID-regulatorer? (2p)
- (e) Nämn någon fördel resp. nackdel med tillståndsbaserad reglering (t.ex med polplacering) jämfört med PID-reglering? (2p)

2. (a) Antag att ett system  $Y(s) = G(s)U(s)$  regleras med en PI-reglering på formen

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

Reglersystemet testas för några olika kombinationer av koefficienter i PI-regulatorn. Förklara hur de olika inställningarna kan kopplas ihop med de olika stegsvaren i figuren.

- 1:  $K_P = 1, K_I = 0$     2:  $K_P = 1, K_I = 1$
- 3:  $K_P = 1, K_I = 2$     4:  $K_P = 4, K_I = 0$



Figur 1: Stegsvar uppgift 2

(4p)

- (b) Antag att

$$G(s) = \frac{10}{3s + 1}$$

Ange den karakteristiska ekvationen för det återkopplade systemet då denna modell återkopplas med PI-regulatorn i uppgift a). (2p)

- (c) Ange hur koefficienterna  $K_P$  och  $K_I$  måste väljas om man kräver att det återkopplade systemets poler skall uppfylla kraven:

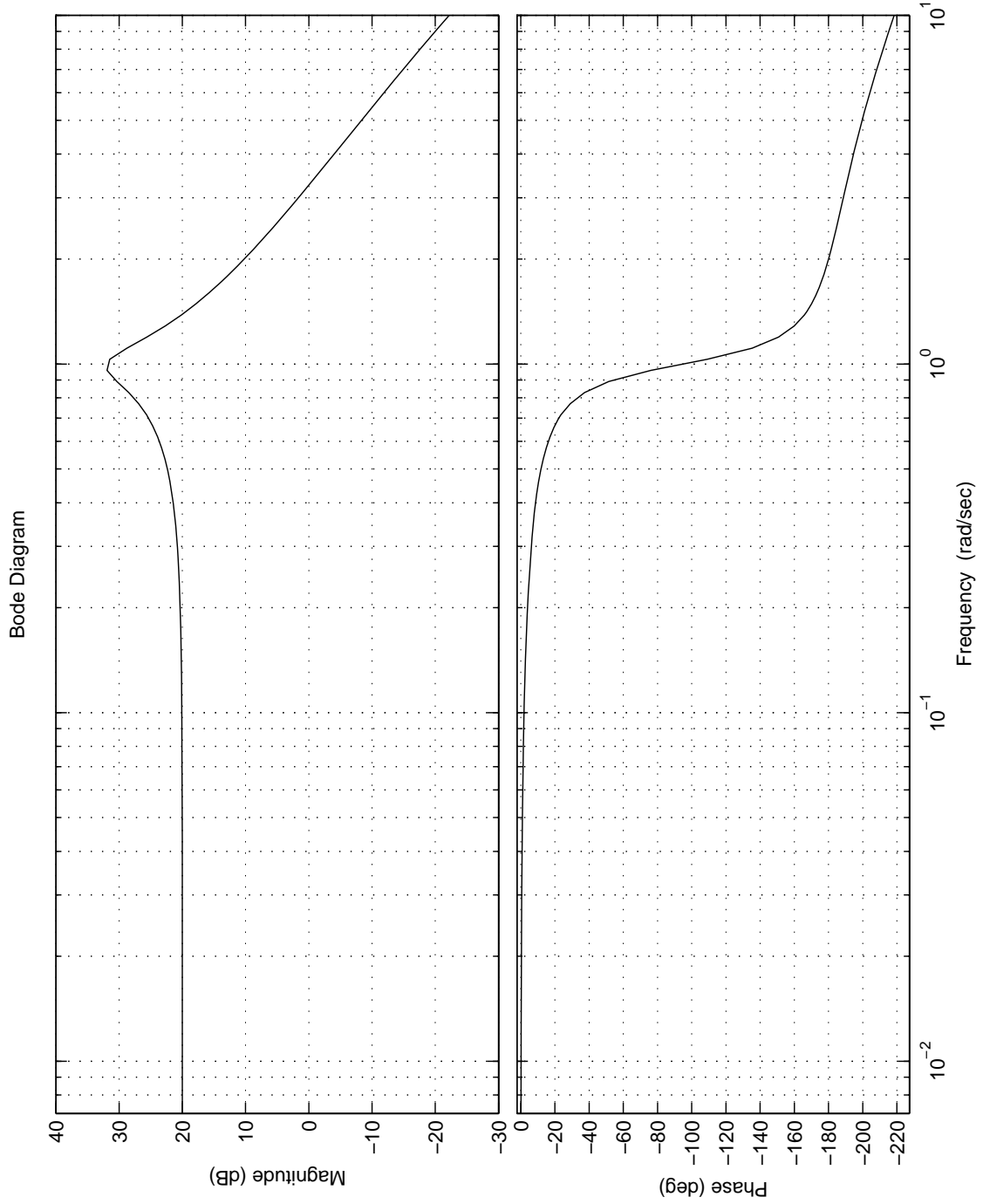
- Absolutbelopp  $\geq 2$
- Relativ dämpning 0.7

(4p)

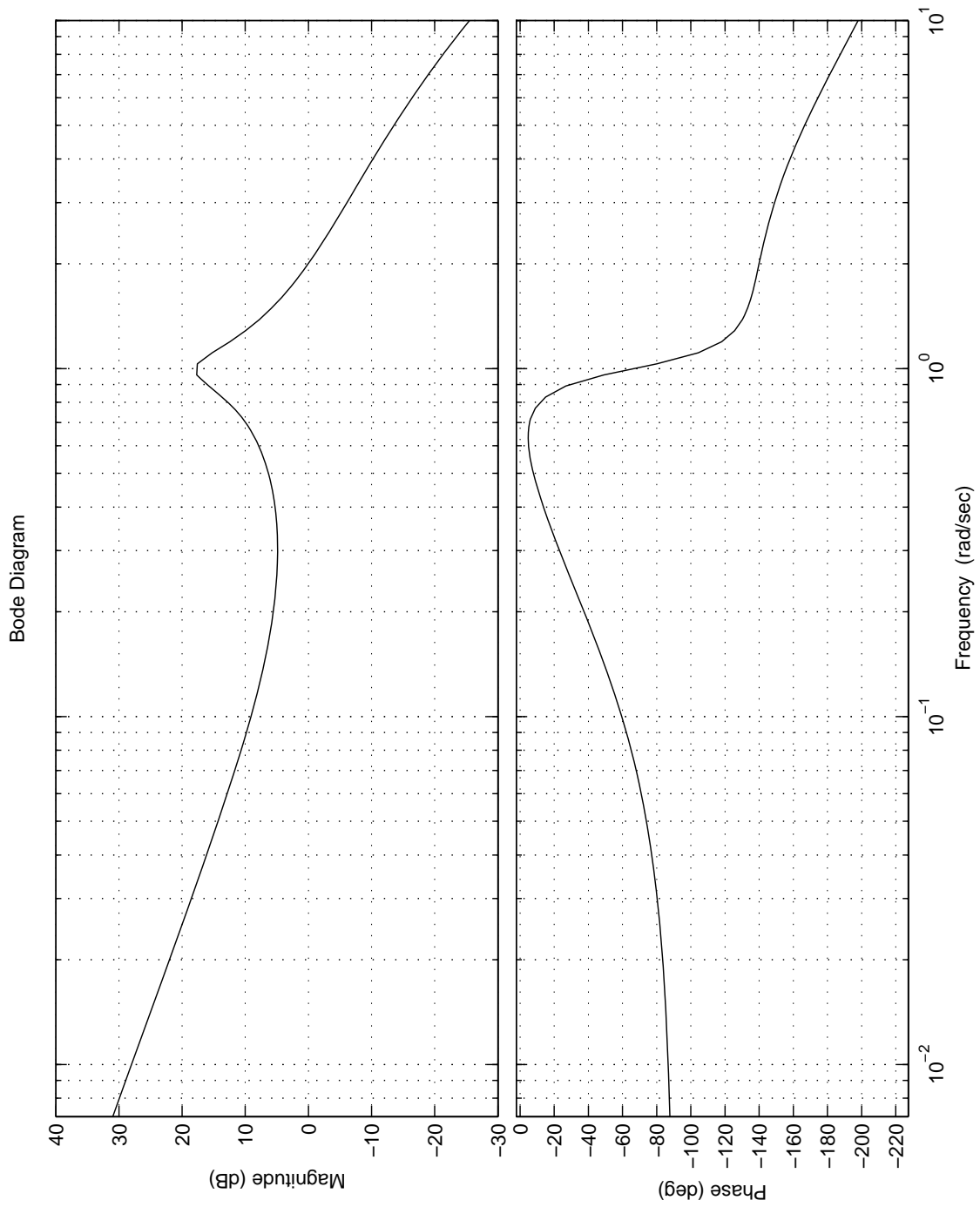
3. I de två Bodediagrammen på följande sidor visas Bodediagram för ett givet system  $G(s)$  samt för ett kompenserat system  $F(s)G(s)$  där  $F(s)$  är framtagen med lead-lag designmetodik.

(a) Vilka designkrav har man ställt vad gäller skärfrekvens, fasmarginal och reglerfel vid följning av konstanta referenssignaler för det kompenserade systemet (3p)

(b) Utveckla en ny regulator som ger en skärfrekvens på 3 rad/s, fasmarginal  $30^\circ$  samt leder till ett reglerfel på högst 1% vid följning av konstanta referenssignaler. (7p)

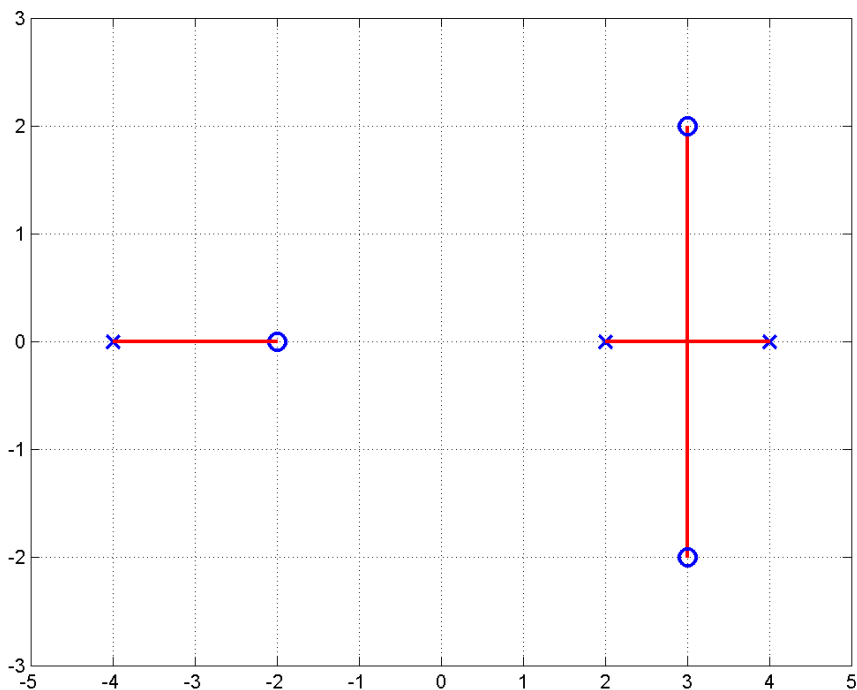


Figur 2: Bodediagram för det ursprungliga systemet  $G(s)$  i uppgift 3.



Figur 3: Bodediagram för det kompenserade systemet  $F(s)G(s)$  i uppgift 3.

4. (a) I figuren nedan visas en rotort m.a.p en parameter  $\alpha$ . Vilka påståenden är korrekta? (Alla korrekta svar med ordentlig motivering och inga felaktiga markeringar ger full pott. Maxpoäng som ges är inte nödvändigtvis samma sak som antalet korrekta alternativ. Fel markering ger poängavdrag) (4p)
- i. Systemet är stabilt om  $\alpha$  är tillräckligt litet
  - ii. Systemet är stabilt om  $\alpha$  är tillräckligt stort
  - iii. Systemet är alltid stabilt
  - iv. Systemet är aldrig stabilt
  - v. Systemet har ett polpolynom av ordning 2
  - vi. Systemet har ett polpolynom av ordning 3
  - vii. Systemet har ett polpolynom av ordning 5
  - viii. Systemet har några komplexa rötter om  $\alpha$  är tillräckligt litet
  - ix. Systemet har alltid komplexa rötter
  - x. Systemet har några komplexa rötter om  $\alpha$  är tillräckligt stort
  - xi. Alla rötter är komplexa om  $\alpha$  är tillräckligt stort



Figur 4: Rotort i uppgift 4. Startpunkter markeras med x och slutpunkter med o.

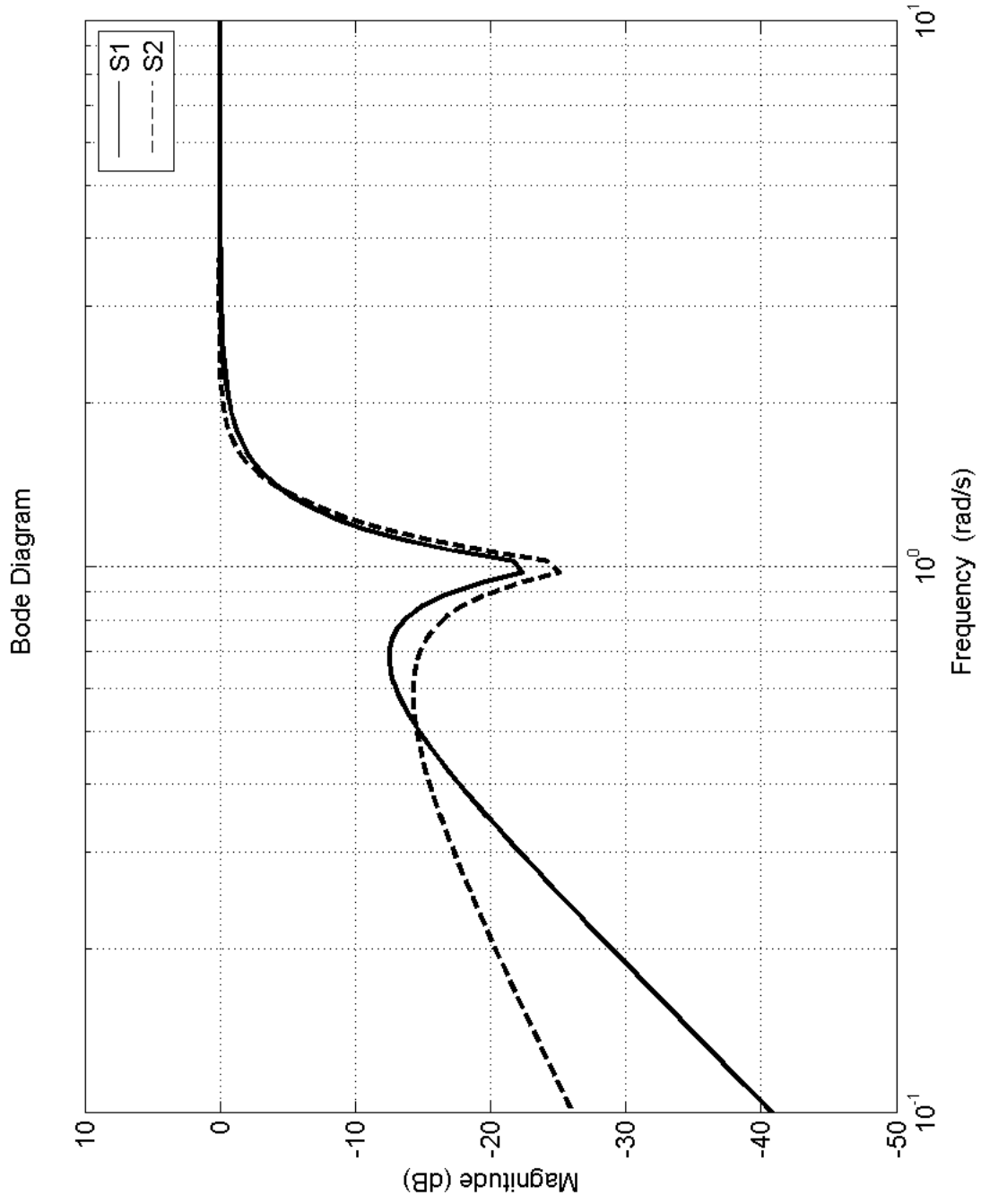


- (b) Vid design av en regulator till en ny produkt har man tagit fram två förslag  $F_1(s)$  och  $F_2(s)$ . Amplitudkurvor för de känslighetsfunktioner  $S_1(s)$  och  $S_2(s)$  som dessa regulatorer ger upphov till är återgivna i Figur 5. I Figur 6 ges motsvarande komplementära känslighetsfunktioner  $T_1(s)$  och  $T_2(s)$ .

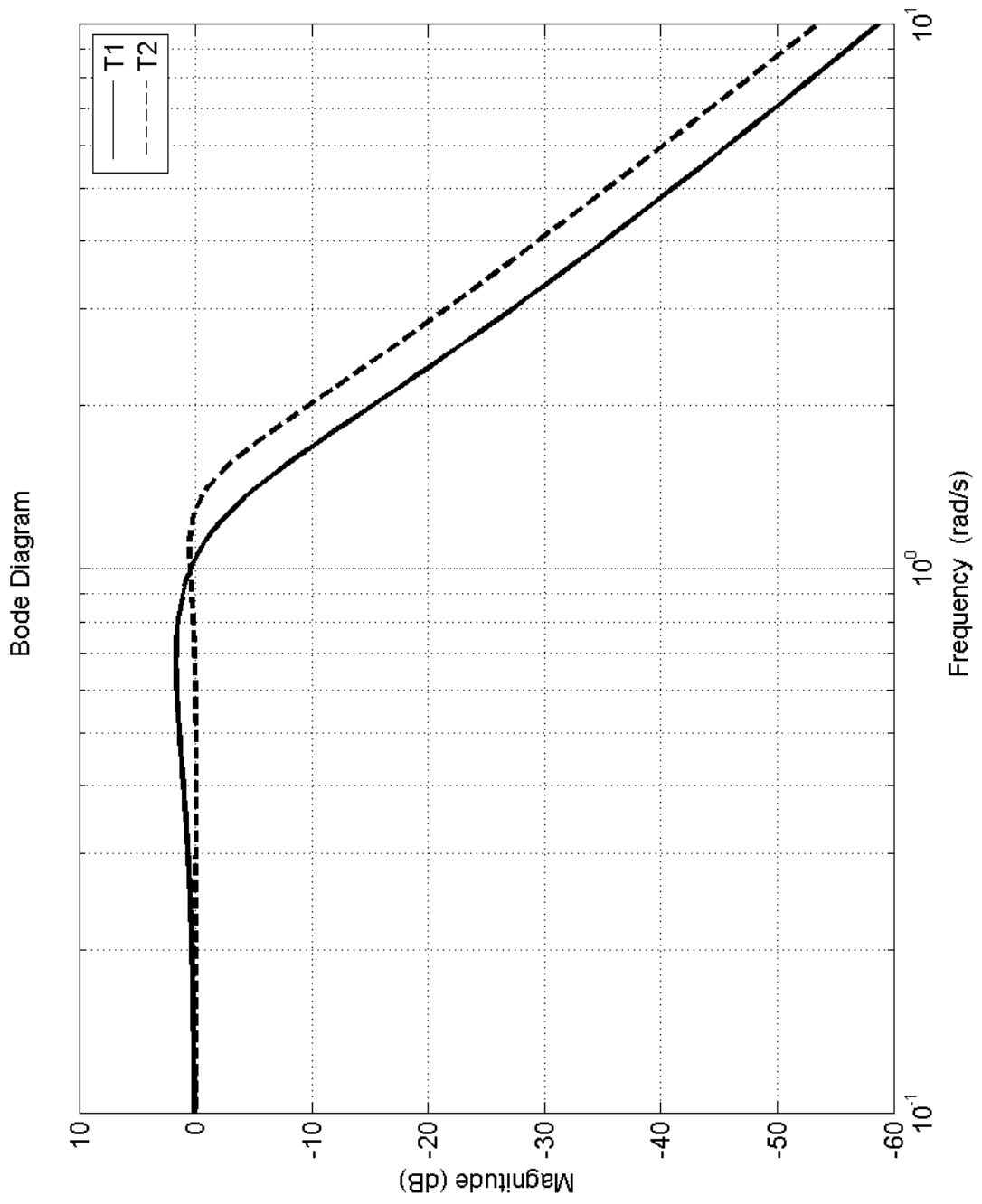
Produkten som skall regleras har kraftiga utsignalsstörningar med energi främst i frekvensen 0.5 rad/s. Mätutrustningen som kommer att användas har väldigt mycket mätfel med frekvensinnehåll ovan 2 rad/s. Vilken av regulatorerna är att föredra, och varför? (2p)

- (c) Vid försäljningen av produkten till en annan kund är det absolut viktigaste kravet att man skall kunna följa referenssignaler i frekvensintervallet 0.5-1 rad/s väl. Vilken av de två regulatorerna är då att föredra? (2p)

- (d) Vilken av regulatorerna är att föredra om man vet att man har mycket modellfel i frekvensintervallet 0.5-1 rad/s och främst vill vara robust mot detta? (2p)



Figur 5: Känslighetsfunktioner



Figur 6: Komplementära känslighetsfunktioner

5. Din konsultfirma har fått i uppdrag av ett bryggeri att utveckla en regulator för jäsningsprocessen av den nya ölsorten *Pole Ale*. Processen beskrivs förenklat av följande modell

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

Styrsignalen  $u(t)$  är en temperaturstyrning av bryggden, och de två tillstånden representerar halter av två smakenzymer som bildas i jäsningsen. Målet är att reglera halten av den första enzymen  $x_1$  så att en viss smak erhålls.

- (a) Bestäm en regulator  $u(t) = -Lx(t) + l_0r(t)$  så att det slutna systemet får poler i  $-2$  (tidsenheten är veckor), samt att inget stationärt reglerfel uppstår då referenssignalen är ett steg. (5p)
- (b) Vid närmare analys så visar det sig att man inte har tillgång till mätningar av båda tillstånden. Dessutom så finns det otydligheter i specifikationen som givits av leverantören av mätutrustningen, så man vet i nuläget inte om man kommer att mäta enzymen  $x_1(t)$  eller enzymen  $x_2(t)$ . Visa att det går att konstruera en observatörförstärkning som kommer att fungera (dvs skapa asymptotiskt stabila skattningar av tillstånden) oavsett vilken mätsignal som faktiskt används i slutänden. (5p)

**Ledning:** Tag fram designkraven för stabilitet i båda fallen och använd kunskap om koefficienter i ett andragradens polpolynom och stabilitet.