

TENTAMEN I TSRT22 REGLERTEKNIK

SAL:

TID: 2020-01-09 kl. 8:00-13:00

KURS: TSRT22 Reglerteknik

PROVKOD: TEN1

INSTITUTION: ISY

ANTAL UPPGIFTER: 5

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

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. Tabeller och formelsamlingar, t.ex.:
 - L. Råde & B. Westergren*: "Mathematics handbook",
 - C. Nordling & J. Österman*: "Physics handbook",
 - S. Söderkvist*: "Formler & tabeller"
3. Miniräknare utan färdiga program
Normala inläsningsanteckningar får finnas i böckerna.

LÖSNINGSFÖRSLAG: Finns på kursens websida efter skrivningens slut.

VISNING av tentan äger rum 2020-02-04, 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

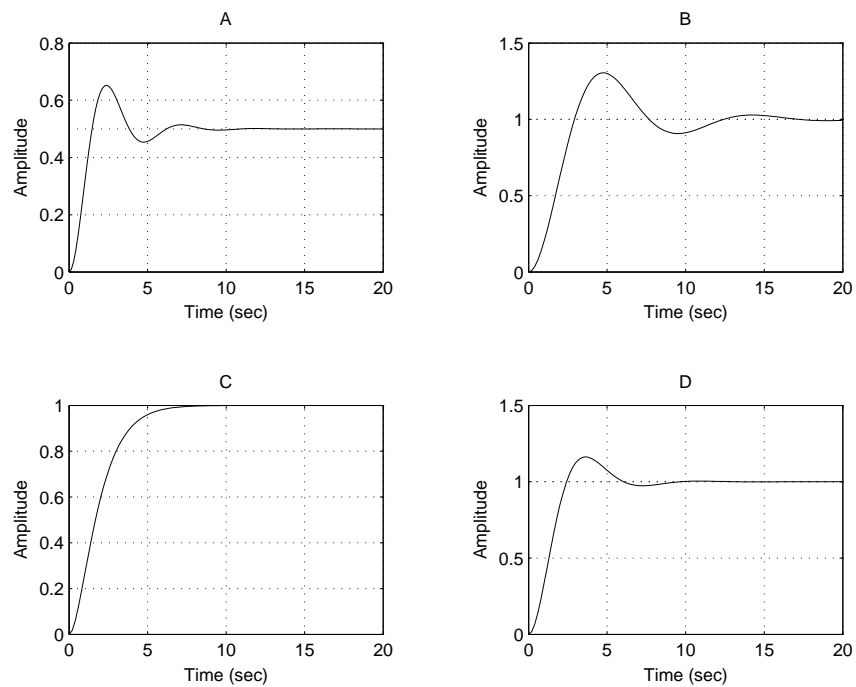
OBS! Lösningar till samtliga uppgifter ska presenteras så att alla steg (utom triviala beräkningar) kan följas. Bristande motiveringar ger poängavdrag.

Lycka till!

1. (a) Figur 1 visar stegsvaren för följande fyra system. Kombinera systemen och stegsvaren. (4p)

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

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

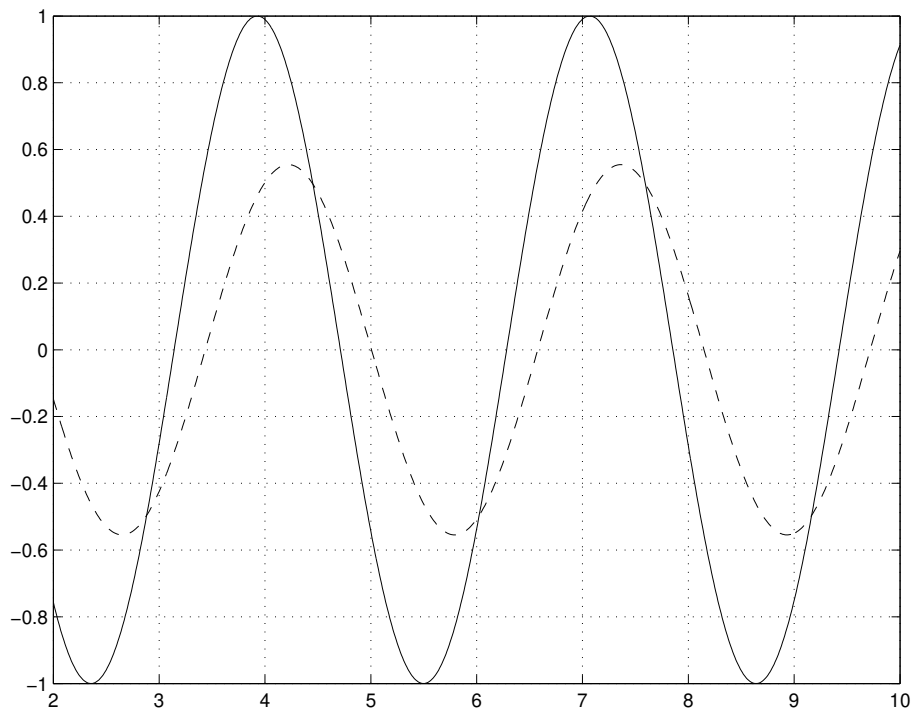


Figur 1: Figur till uppgift 1b.

- (b) I figur 2 visas insignal (heldragen) och utsignal (streckad) då insignalen till systemet

$$Y(s) = \frac{b}{s + a} U(s)$$

är sinusformad. Ange koefficienterna a och b . (3p)



Figur 2: Figur till uppgift 1b.

(c) Betrakta ett stabilt system

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

Två alternativa sätt att karakterisera systemets egenskaper är att studera dess bodediagram eller dess stegsvar. Beskriv med ord vilka samband som gäller (kvalitativt) mellan följande egenskaper:

- Bandbredden i bodediagrammet och stigtiden hos stegsvaret.
- Höjden på resonanstoppen i bodediagrammet och överslängen hos stegsvaret.
- Den statiska förstärkningen i bodediagrammet och stegsvarets slutvärde.

(3p)

2. (a) Systemet

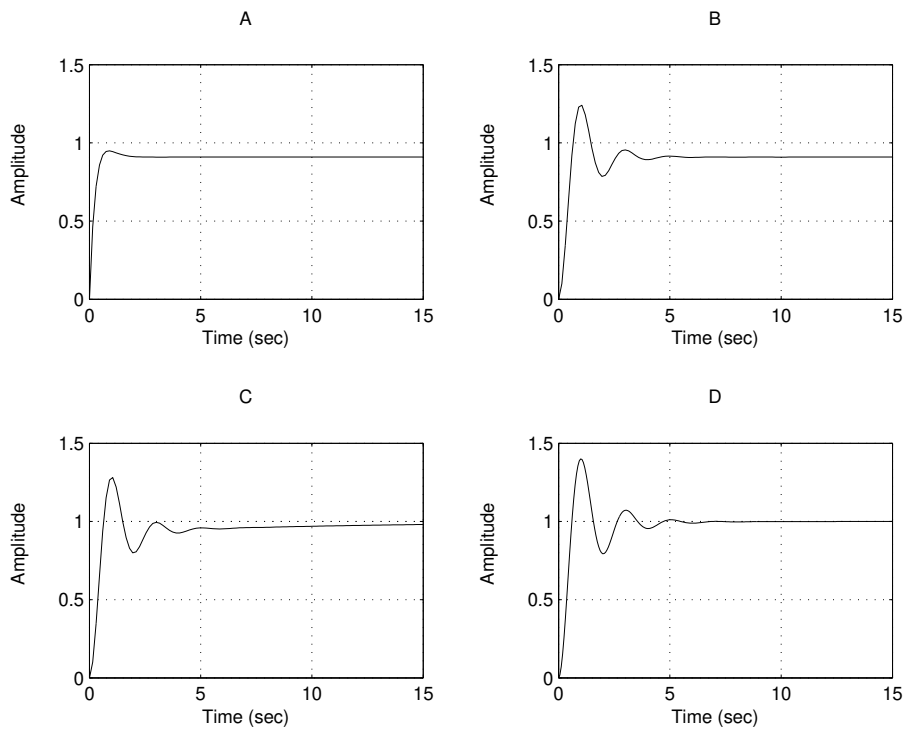
$$Y(s) = \frac{1}{(s+1)^2}U(s)$$

styrts med PID-återkopplingen

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

I figuren 3 visas stegsvaret för följande fyra kombinationer av koeficientvärden.

- (1) $K_P = 10$ $K_I = 0$ $K_D = 0$ (2) $K_P = 10$ $K_I = 4$ $K_D = 0$
(3) $K_P = 10$ $K_I = 1$ $K_D = 0$ (4) $K_P = 10$ $K_I = 0$ $K_D = 4$



Figur 3: Figur till uppgift 2a.

Kombinera figurerna och koeficientvärdena. (4p)

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

(c) Betrakta systemet nedan.

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

Kan man med tillståndsåterkoppling

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

placera det återkopplade systemets poler godtyckligt? Kan man med tillståndsåterkoppling uppnå att det återkopplade systemet är stabilt? (3p)

3. Betrakta en förenklad variant av det balanseringsproblem som studerades i laboration 3 i kursen.



Figur 4: Balansövning.

- (a) Genom att betrakta accelerationen i stavens nedre ände som styr-signal kan pendeln (linjäriserat) beskrivas med tillståndsmodellen

$$\dot{x}(t) = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 10 & 0 \end{pmatrix} x(t) + \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} u(t) \quad y(t) = \begin{pmatrix} 1 & 0 \end{pmatrix} x(t)$$

där tillståndsvariablerna $x_1(t)$ och $x_2(t)$ representerar pendelns vinkel respektive vinkelhastighet. Ange systemets poler. (2p)

- (b) Antag att pendeln ska styras med tillståndsåterkopplingen

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

där α är en konstant. Ange det återkopplade systemets karakteristiska ekvation. (3p)

- (c) Antag $\alpha = 1$. Bestäm återkopplingsvektorn L så att det återkopplade systemets poler placeras i -1 . (3p)

- (d) Antag nu att det finns vissa osäkerheter i den komponent som ska generera styrsignalen (accelerationen). Återkopplingen beskrivs därför av

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

där $\alpha \neq 1$. För vilka α får man ett stabilt återkopplat system med den återkopplingsvektor som bestämdes i uppgift c)? Man kan förutsätta att $\alpha > 0$. (2p)

4. Ett system beskrivs av modellen

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

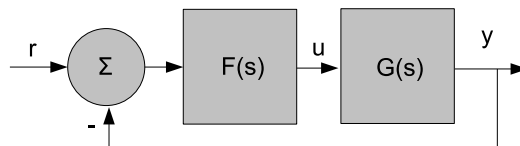
och dess Bodediagram ges i figur 6.

- (a) Ange en möjlig kombination av värden på p, n och m så att diagrammet stämmer med överföringsfunktionen nedan. (3p)

$$G(s) = \frac{K(s + z_1) \cdots (s + z_m)}{s^p(s + p_1) \cdots (s + p_n)}$$

- (b) Antag att systemets styrs med återkopplingen enligt figur 5 där

$$F(s) = K_P$$



Figur 5: Reglersystem

Hur stort kan K_P väljas som mest om man vill att reglersystemet ska ha fasmarginal större än 30° ? (3p)

- (c) Antag att man använder $K_P = 2$, och att mätningen av $y(t)$ tidsfördröjs T sekunder, d v s återkopplingen ges av

$$u(t) = K_P(r(t) - y(t - T))$$

Hur vilka värden på T är det återkopplade systemet stabilt? (4p)

5. Ett elektromekaniskt positioneringssystem kan approximativt beskrivas med modellen

$$Y(s) = \frac{A}{ms^2 + fs}U(s)$$

där koefficienten A anger relationen mellan insignalen (spänning eller ström) och applicerad kraft, m är massan och f är en friktionskoefficient. Här antas att $A = 1$ och $m = 0.1$. Antag att friktionens inverkan försummas, dvs att systemet beskrivs approximativt med modellen

$$Y(s) = \frac{1}{0.1s^2}U(s)$$

Antag att systemet styrs med PD-återkopplingen

$$U(s) = (K_P + K_D s)(R(s) - Y(s))$$

med koefficientvärdena $K_P = 10$ och $K_D = 1.5$. Amplitudkurvan för det återkopplade systemets överföringsfunktion ges då av figur 7.

Antag nu att man vill undersöka friktionens inverkan på stabiliteten hos reglersystemet då PD-återkopplingen ovan används på det verkliga systemet, vilket ges av

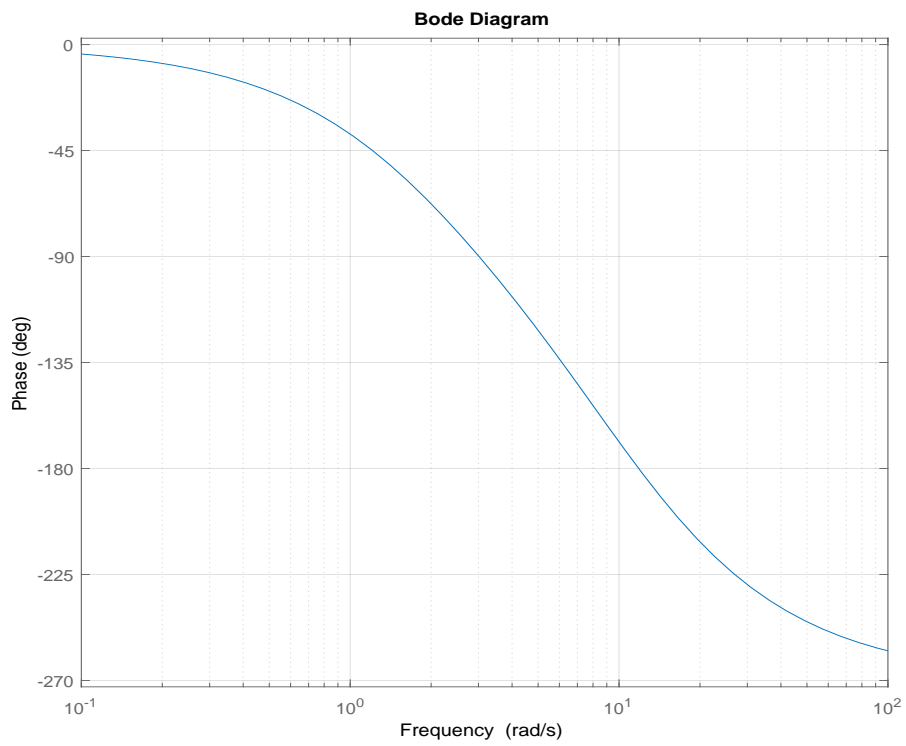
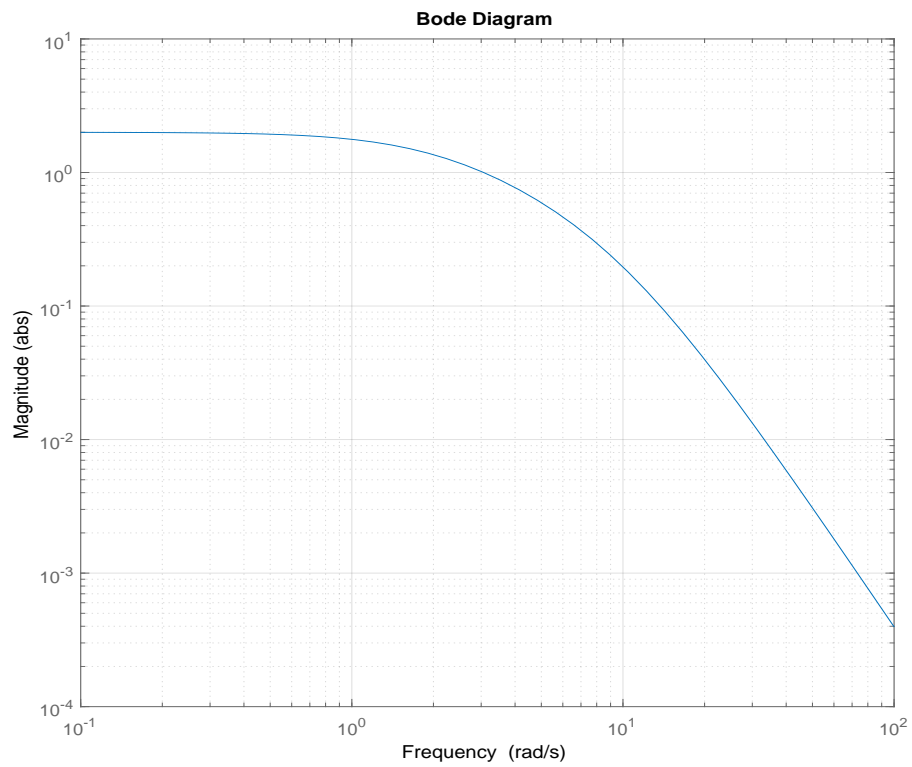
$$Y(s) = G^0(s)U(s)$$

där

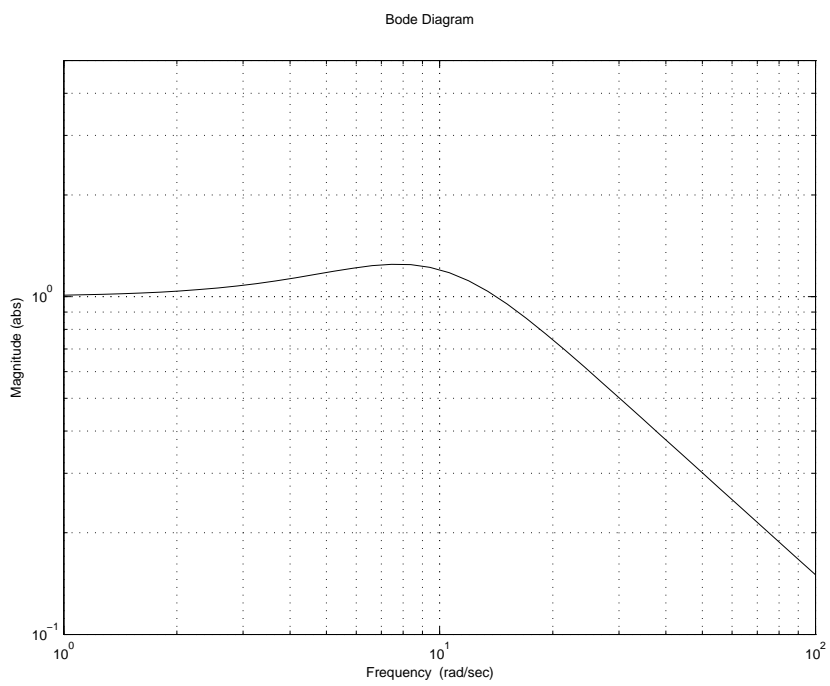
$$G^0(s) = \frac{1}{0.1s^2 + fs}$$

och $f > 0$ är friktionskoefficienten.

- (a) Avgör för vilka värden på f som det återkopplade systemet är stabilt då återkopplingen ovan används på systemet $G^0(s)$? (4p)
- (b) Ange det relativa modellfelet för modell och verkligt system enligt ovan. (2p)
- (c) Kan man med robusthetskriteriet garantera att de återkopplade systemet är stabilt för alla värden på f ? Om ej, ange ett värde på f för vilket stabilitet ej kan garanteras. (4p)



Figur 6: Bodediagram till uppgift 4



Figur 7: Bodediagram till uppgift 5.