TENTAMEN I TSRT22 REGLERTEKNIK

SAL:

TID: 2023-01-03 kl. 14:00-19:00

KURS: TSRT22 Reglerteknik

PROVKOD: TEN1

INSTITUTION: ISY

ANTAL UPPGIFTER: 5

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

BESÖKER SALEN: cirka kl. 15:00, 16:30 och 18:00

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 kursrumemt Lisam efter tentan.

VISNING av tentan äger rum 2023-02-01, 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) Ett system kan delas upp i två delsystem, där det första delsystemet ges av ekvationen

$$\dot{z}(t) + z(t) = u(t)$$

och det andra delsystemet ges av ekvationen

$$\ddot{y}(t) + 2\dot{y}(t) + y(t) = z(t)$$

Ange differentialekvationen från $u(t)$ till $y(t)$. (4p)

(b) Ett system beskrivs av modellen

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

där

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

Systemet styrs med återkopplingen

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

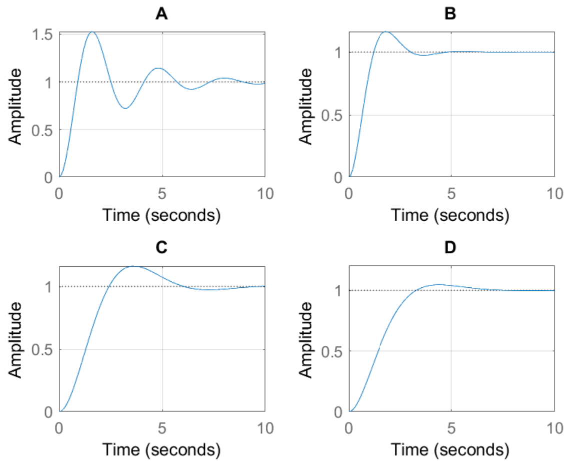
där

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

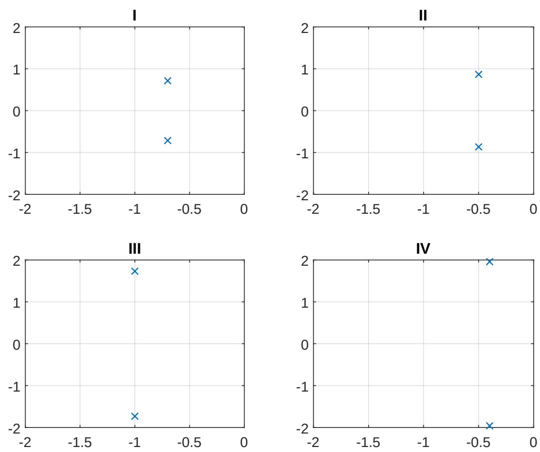
där $K_P = 2.3, K_I = 2$ och $K_D = 0$. Ange det återkopplade systemets poler. (2p)

(c) Ange ungefärliga värden (givet att inverkan av systemets nollställe försummas) på stigtid och översläng för det återkopplade systemets stegsvar utgående från de poler som beräknades i uppgift b. (2p)

(d) Figur 1 visar stegsvaret för fyra olika system, och figur 2 visar polernas placering för motsvarande system. Kombinera stegsvaren med polerna. (4p)



Figur 1: Stegsvar till uppgift 1 d.



Figur 2: Poler till uppgift 1 d.

2. (a) Ett system beskrivs av modellen

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

Antag att insignalen ges av $u(t) = 4 \sin t$. Ange utsignalen efter att den transienta delen av utsignalen dött ut. (4p)

(b) Ett system beskrivs av modellen

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

där

$$G(s) = \frac{as + b}{cs + d}$$

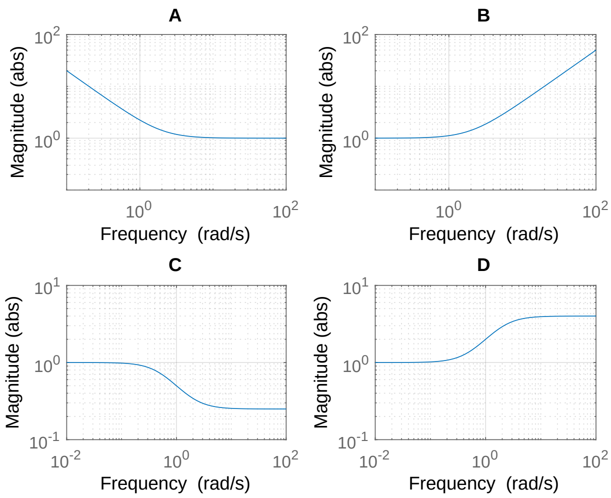
Figur 3 visar $\mid G(i\omega) \mid$ för fyra olika kombinationer av värden på koefficienterna a, b, c och d. Kombinera figurena och koefficientvärdena. (4p)

$$(i) \quad a = 0.5 \quad b = 1 \quad c = 0.5 \quad d = 0$$

$$(ii) \quad a = 0.5 \quad b = 1 \quad c = 2 \quad d = 1$$

$$(iii) \quad a = 2 \quad b = 1 \quad c = 0.5 \quad d = 1$$

$$(iv) \quad a = 0.5 \quad b = 1 \quad c = 0 \quad d = 1$$



Figur 3: Absolutbeloppskurvor till uppgift 2 b.

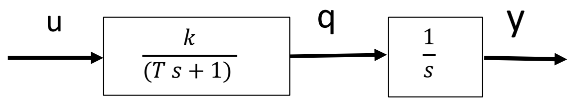
3. Ett systemet för nivåreglering ges av figur 4 där delsystemet

$$Q(s) = \frac{k}{Ts+1} U(s)$$

representerar egenskaperna hos en ventil, och

$$Y(s) = \frac{1}{s} Q(s)$$

representerar en tank.



Figur 4: System för nivåreglering.

(a) Antag att vi inför tillståndsvariablerna $x_1(t) = y(t)$ och $x_2(t) = q(t)$. Verifiera att modellen kan skrivas på tillståndsform enligt nedan. (2p)

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

(b) Ange modellens poler. (1p)

(c) Antag att $k = T = 1$. Bestäm en tillståndsåterkoppling på formen

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

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

(d) Antag nu att $T \neq 1$. Ange det återkopplade systemets karakteristiska ekvation. Kan det återkopplade systemet bli instablit för något $T > 0.2$? Hur förändras det återkopplade systemets egenskaper om $T > 1$ respektive $0.2 < T < 1$. (4p)

4. Ett system beskrivs av sambandet

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

och det styrs med den proportionella återkopplingen

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

där $K > 0$.

(a) Verifiera att känslighetsfunktionens statiska förstärkning är noll. (1p)

(b) Verifiera att det, oavsett valet av K, finns vinkelfrekvenser där känslighetsfunktionens absolutbelopp är större än ett, d v s

$$| S(i\omega) | > 1$$

För vilka vinkelfrekvenser inträffar det? (3p)

(c) Verifiera att $| S(i\omega) |$ går mot ett när ω går mot oändligheten. (1p)

(d) Skissa $| S(i\omega) |$ som funktion av ω. (2p)

(e) Betrakta ekvationen

$$(s+1)(s+2)(s+3) + KQ(s) = 0$$

där polynomet $Q(s)$ har gradtal $m \leq 3$. För vart och ett av påståendena nedan, ange om påståendet är sant, falsk eller kräver att $Q(s)$ är känt för att avgöra. (3p)

- Samtliga rötter ligger i vänster halvplan för små värden på K.
- För $m = 1$ ligger alla rötter i vänster halvplan för alla $K > 0$.
- För $m = 2$ ligger alla rötter i vänster halvplan för stora värden på K.

5. Ett system antas beskrivas av modellen

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

Systemet innehåller dock en tidsfördröjning, vilket gör att systemet i verkligheten ges sambandet

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

där

$$G^0(s) = e^{-sT}G(s)$$

och e^{-sT} är överföringsfunktionen för tidsfördröjningen.

(a) Ange det relativa modellfelet $\Delta G(s)$ som tidsfördröjningen motsvarar. (2p)

(b) Antag att man bestämmer en återkoppling

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

utgående från modellen $G(s)$. Verifiera att robusthetskriteriet ger att det återkopplade systemets överföringsfunktion måste uppfylla

$$\mid G_C(i\omega) \mid < 0.5 \quad \forall \;\; \omega$$

för att garantera stabilitet hos det återkopplade systemet för alla värden på T när regulatorn $F(s)$ används på systemet $G^0(s)$. (4p)

(c) Antag nu att

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

och att systemet styrs med proportionell återkoppling, d v s $F(s) = K$ där $K > 0$. Vilket krav på K ger villkoret i uppgift b? **Obs!** Notera att denna uppgift kan göras utan att uppgift b lösts. (2p)

(d) Vilken fas- och amplitudmarginal fås för det öppna systemet när kravet på K i uppgift c är uppfyllt? (2p)