

TENTAMEN I REGLERTEKNIK TSRT12

SAL: TER1, TER2 och U3

TID: 23 mars 2022, klockan 8 - 13

KURS: TSRT12, Reglerteknik

PROVKOD: TEN1

INSTITUTION: ISY

ANTAL UPPGIFTER: 5

ANTAL SIDOR PÅ TENTAMEN (INKLUSIVE FÖRSÄTTSLAD): 8

ANSVARIG LÄRARE: Daniel Axehill, tel 013-284042, 0708-783670.

BESÖKER SALEN: 9:00 och 11:00

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

TILLÅTNA HJÄLPMEDEL: Läroboken Glad-Ljung: ”Reglerteknik, grundläggande teori” med normala inläsningsanteckningar, Kompletterande kompendium: Martin Enqvist: ”En introduktion till lärande reglering - Förstärkningsinlärning eller hur man tar fram en optimaltillståndsåterkoppling utan en modell av systemet”, tabeller, formelsamling, räknedosa (ej dator, telefon, surfplatta, osv.) utan färdiga program.

LÖSNINGSFÖRSLAG: Anslås efter tentamen på kursens hemsida.

VISNING av tentan enligt senare e-mail

PRELIMINÄRA BETYGSGRÄNSER (kan komma att ändras):

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) Signalen $\sin 7t$ läggs på ingången till systemet

$$\frac{13}{s+8}$$

Vad blir utsignalen när alla transienter klingat av? (2p)

- (b) Nedan listas fyra reglerteknisk verktyg (A-D) samt fyra för- och fyra nackdelar (I-VIII) som hör ihop med verktygen. Para ihop varje verktyg med dels en (1 st) fördel (+) och en (1 st) nackdel (-). Om det finns flera som du tycker passar, gör den matchning som du tycker passar bäst. Precis som för alla uppgifter ska svaren även här motiveras! (4p)

- (A) P-reglering
- (B) D-reglering
- (C) Framkoppling
- (D) Observatör

- (I) + Kan ge möjlighet att återkoppla från signaler för vilka man inte har en sensor.
 - (II) + Kräver ingen sensor.
 - (III) + Kräver inget minne vid implementation i (t.ex.) mjukvara.
 - (IV) + Kan dämpa ett slängigt stegsvar.
 - (V) – Ger en mer komplicerad regulator med potentiellt högt ordningstal.
 - (VI) – Kan fungera dåligt om det förekommer högfrekvent mätbrus.
 - (VII) – Kan fungera dåligt om man har begränsad kännedom om processen och/eller systemstörningar verkande på den.
 - (VIII) – Ger ofta ett statistiskt fel.
- där + anger en fördel och – en nackdel.

- (c) I förstärkningsinlärning talar man om två närbesläktade funktioner, dels en värdefunktion $V_L(x_k)$ och dels en Q-funktion $Q(x_k, u_k)$. Beskriv i ord skillnaden mellan dessa och varför denna skillnad är viktig. (2p)
- (d) Du har börjat arbeta i ett open-source-projekt och hittar följande kod som implementerar en typ av regulator:

```
wantedSpeed = getValueFromAutoPilotReference;
currentSpeed = getValueFromSpeedSensor;
if notEqual(wantedSpeed, currentSpeed)
    % Super cool new algorithm
    motorEffect = motorEffect + 0.01*(wantedSpeed-currentSpeed)
end
```

- i. Kan regulatorn sägas vara ett dynamiskt system och i så fall varför/varför inte? (1p)
- ii. Är den egentligen en känd typ av regulator, och i så fall vilken? (1p)

2. Ett system beskrivs med modellen

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

där

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

Systemet styrs med PID-återkoppling enligt $U(s) = F(s)(R(s) - Y(s))$ där

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

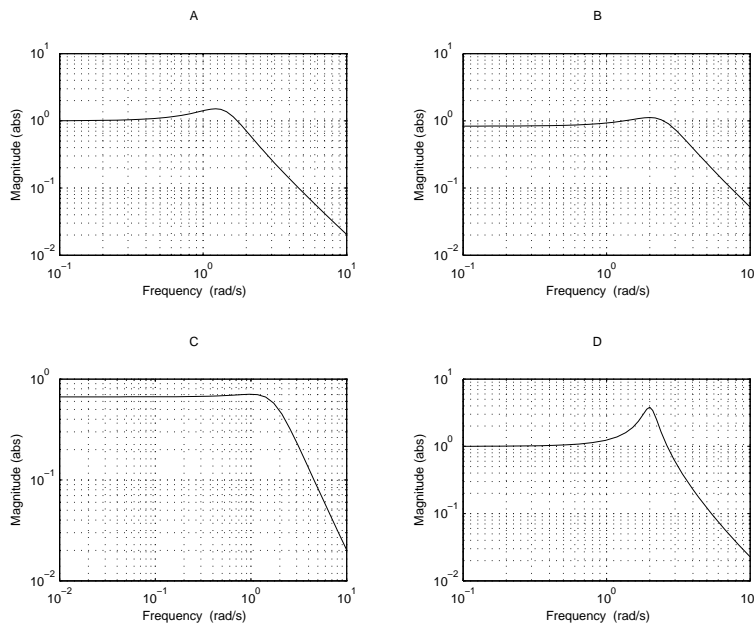
(a) I figur 1 visas det återkopplade systemets amplitudkurva, dvs. $|G_c(i\omega)|$ för några olika kombinationer av PID-koefficienter. Kombinera koefficienterna med figurerna. (4p)

- | | |
|---------------------------------|----------------------------------|
| (1) $K_P = 2, K_I = 0, K_D = 0$ | (2) $K_P = 5, K_I = 0, K_D = 0$ |
| (3) $K_P = 2, K_I = 2, K_D = 0$ | (4) $K_P = 2, K_I = 10, K_D = 0$ |

(b) Betrakta åter modellen och återkopplingen ovan. Ange det återkopplade systemets karakteristiska ekvation. Kan man med lämpliga val av K_P, K_I och K_D placera det återkopplade systemets poler godtyckligt? (3p)

(c) Bestäm koefficienterna K_P, K_I och K_D så att följande krav uppfylls.

- $S(0) = 0$
- Det återkopplade systemets poler uppfyller $\text{Re}(s) \leq -1$. (3p)



Figur 1: Bodediagram till uppgift 2a.

3. Ivar och Emma sitter och funderar över värmesystemet i sitt nyinköpta hus. Temperaturen i huset kan mycket förenklat beskrivas med modellen

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

där $U(s)$ och $Y(s)$ är Laplacetransformerna för den tillförda effekten respektive temperaturen i huset samt

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

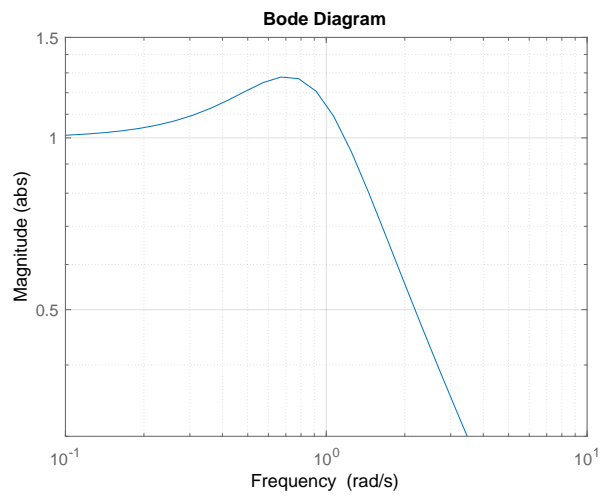
Temperaturen styrs med en PI-återkoppling på formen

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

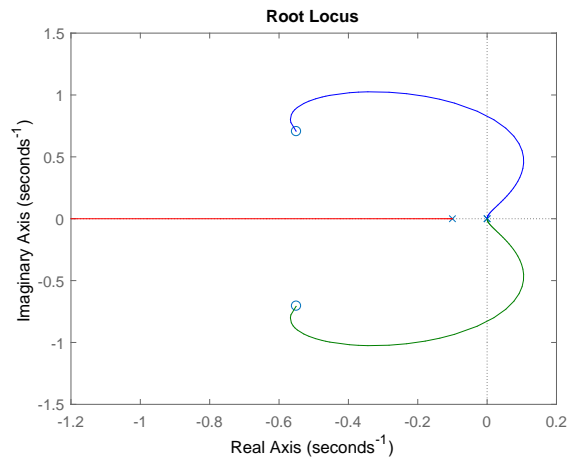
Det Emma och Ivar främst funderar över är om reglersystemet är robust mot fel i den modell som användes för att ställa in PI-återkopplingen. Den tillförda värmeeffekten sker via en ventil som har en viss dynamik, vilket innebär att systemet i verkligheten beskrivs av

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

- (a) Ange det relativa modellfelet $\Delta G(s)$ för detta fall. (2p)
- (b) Figur 2 visar $|G_C(i\omega)|$ för det återkopplade system som erhålls när PI-återkopplingen bestämts utgående från modellen $G(s)$. Skissa absolutbeloppet av inversen av det relativa modellfelet och gör en uppskattning av hur stort/litet α kan vara för att man ska kunna garantera stabilitet hos det återkopplade systemet. Låt denna gräns för α betecknas α_{robust} . (3p)
- (c) Figur 3 visar rotorten med avseende på α för det återkopplade systemets karakteristiska ekvation när $F(s)$ används på det verkliga systemet $G^0(s)$. Beskriv hur det återkopplade systemets stabilitet beror av α . Antag att det värde på α för vilket de två rötterna i figuren passerar imaginäraxeln betecknas med α_{rotort} . Vilket av alternativen $\alpha_{rotort} \leq \alpha_{robust}$ eller $\alpha_{rotort} \geq \alpha_{robust}$ gäller? (3p)
- (d) Eftersom den huvudsakliga störningen i detta reglersystem är utetemperaturen, vilken kan mätas, är det naturligt att använda denna information för att styra inomhustemperaturen. Vilka är möjligheterna och begränsningarna med att göra detta? Kan reglersystemet bli instabilt genom att använda mätningen av utetemperaturen? (2p)



Figur 2: Figur till uppgift 3 b.



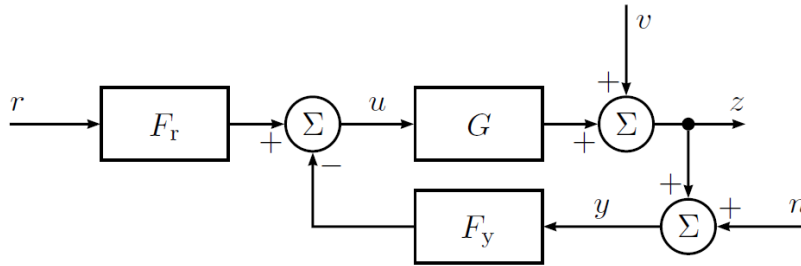
Figur 3: Figur till uppgift 3 c.

4. En modell av ett system är framtagen

$$Y(s) = \frac{1}{\frac{s}{10} + 1} U(s)$$

- (a) Skriv om modellen till tillståndsform. (2p)
- (b) För att reglera modeller på tillståndsform behöver vi ofta en observatör för att skatta tillstånden. Då är det viktigt att systemet är observerbart. Beskriv kort vad observerbarhet praktiskt innebär. (2p)
- (c) Du har blivit ombedd att ta fram en observatör för modellen i (a) med hjälp av Kalmanfilterteknik. Processbruset har kovariansen R_1 och mätbruset har kovariansen R_2 . Skriv ner observatörens ekvation ($\hat{x} = \dots$) och ange ett explicit uttryck för hur observatörsförstärkningen (K) beror av kovarianserna. (4p)
- (d) Tag fram ett uttryck för hur observatörens tidskonstant beror av kovarianserna. Hur kommer tidskonstanten påverkas om vi tror att vi har mycket osäkerhet i mätningarna relativt modellen? (2p)

5. Betrakta blockschemat i figur 4 där ett reglerat system $G(s)$ styrs av en regulator bestående av två delar $F_r(s)$ och $F_y(s)$. Signalen r är referenssignalen, v betecknar en systemstörning och n betecknar en mätstörning för vilken det antas att $n = 0$. Vidare är u styrsignalen och z är den variabel vi vill reglera, d.v.s. reglerstorheten.



Figur 4: Blockschema för uppgift 5.

- (a) Härled (noggrant) överföringsfunktionerna från r resp. v till z . Enbart svar kommer inte att ge poäng. (4p)
- (b) Med denna regulatorstruktur kan ofta ett visst önskat beteende $G_m(s)$ hos det slutna systemet $G_c(s)$ från r till z ges av många val av $F_r(s)$ och $F_y(s)$. Visa hur $F_r(s)$ måste väljas givet ett önskat slutet system $G_m(s)$. Ange innebörden av, i ord, denna frihet. (3p)
- (c) Antag att man har ett liknande önskemål för känslighetsfunktionen $S(s)$ att man vill ange en önskad överföringsfunktion $S_m(s)$. Finns ett motsvarande uttryck för $F_r(s)$ som i (b) för att uppnå ett önskat $S_m(s)$, även i det fallet? I så fall, vilket är det? Om inte, varför finns det inte? (1p)
- (d) Antag att det finns önskemål om att använda sig av en regulator som bygger på återkoppling från rekonstruerade tillstånd. Är en sådan regulator typ möjlig att använda i ett regler system enl. blockschemat i figur 4? Vad blir i så fall uttrycken för F_r och F_y ? (2p)