TENTAMEN I TSRT07 INDUSTRIELL REGLERTEKNIK

SAL: ISY:s datorsalar (Egypten, Asgård)

TID: 2023-06-08 kl. 8:00–12:00

KURS: TSRT07 Industriell reglerteknik

MODUL: DAT1

INSTITUTION: ISY

ANTAL UPPGIFTER: 5

ANSVARIG LÄRARE: Martin Enqvist, tel. 013-281393

BESÖKER SALEN: cirka kl. 9:00 och 11:00

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

TILLÅTNA HJÄLPMEDEL:

1. ”Industriell reglerteknik – Kurskompendium”
2. *T. Glad & L. Ljung*: ”Reglerteknik. Grundläggande teori”
3. Tabeller, t.ex.:
   L. Råde & B. Westergren: ”Mathematics handbook”
   C. Nordling & J. Österman: ”Physics handbook”
   S. Söderkvist: ”Formler & tabeller”
4. Miniräknare

FILER: De filer som behövs för att lösa några av uppgifterna finns tillgängliga i katalogen `exam` på tentakontot samt på `/courses/tsrt07/exam2`. Om du av någon anledning behöver de orörda filerna: Öppna ett terminalfönster, gå till en lämplig katalog och kopiera filerna dit med kommandot

`cp -r /courses/tsrt07/exam2 .` (Observera punkten!)

MATLAB: Matlab kan startas genom att i ett terminalfönster först skriva `module add prog/matlab` och sedan på en ny rad `matlab &`.

LÖSNINGSFÖRSLAG: Finns på kursens websida efter skrivningens slut.

VISNING av tentan äger rum 2023-06-20 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!

UTSKRIFTSTIPS (LINUX): Utskrifter av vanliga filer kan skickas till en viss skrivare genom att man skriver kommandon som till exempel

```
lp -d printername file.pdf
```

i ett terminalfönster. (Byt ut `printername` mot den aktuella skrivarens namn.) Om man väljer `File/Print` i ett simulinkschema kan man ange en viss skrivare genom att lägga till

```
-Pprintername
```

i rutan vid `Device option`.

TENTAND-ID (AID) PÅ UTSKRIFTER: Man kan lägga in text i matlabplottar med kommandona `title` och `gtext` och i scopeplottar i Simulink genom att högerklicka i dem och välja `Axes properties`. I simulinkscheman kan man dubbelklicka på något blankt ställe och sedan skriva in text.

1. (a) Systemet

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

ska regleras med en PI-regulator med $T_i = 3$. Hur stor kan man välja regulatorförstärkningen utan att få ett instabilt slutet system om man använder en tidskontinuerlig regulator? Vilken stabilitetsgräns får man om man istället använder en samplande regulator med $T_S = 0.3\,\mathrm{s}$ som ger en styckvis konstant insignal till systemet? Antag att man använder Tustins formel vid approximationen av den tidskontinuerliga PI-regulatorn. (4p)

(b) Antag att man har ett system där dynamiken beror på en mätbar extern signal $z(t)$ och där man har genomfört självsvängningsexperiment för två konstanta värden på $z(t)$. Resultatet är att när $z(t) = 0$ har man en kritisk förstärkning $K_u = 3$ och när $z(t) = 1$ är $K_u = 6$. För att få ungefär samma beteende oavsett vilket värde $z(t)$ har i intervallet $[0, 1]$ vill man använda en parameterstyrd P-regulator. Förstärkningen K i regulatorn ska väljas med hjälp av Ziegler-Nichols inställningsregel vid de båda arbetspunkterna och i det inre av intervallet vill man använda linjär interpolation för att få ett lagom stort K. Skriv ner uttrycket för hur K beror av signalen $z(t)$. (3p)

(c) Man vill reglera systemet

$$\begin{aligned} x(k+1) &= \begin{pmatrix} -0.5 & 1.5 \\ 0.2 & -0.5 \end{pmatrix} x(k) + \begin{pmatrix} 1 \\ 0.1 \end{pmatrix} u(k), \\ z(k) &= x(k) \\ y(k) &= x(k) \end{aligned}$$

med en MPC-regulator med bivillkoret $x(k+N) = 0$ för att garantera stabilitet när man startar i ett godtyckligt initialtillstånd och styrsignalen är begränsad till intervallet $[-10, 10]$. Kommer detta att fungera? Motivera ditt svar! (3p)

2. (a) Genomför ett stegsvarsexperiment med systemet

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

och anpassa en treparametermodell till stegsvaret. Förklara hur modellparametrarna har bestämts. Använd sedan modellen för att ställa in en PI-regulator med hjälp av lambdatrimning. Sikta på att det slutna systemet ska få en tidskonstant som är hälften så stor som det öppna systemets. Vilka värden får regulatorparametrarna? (6p)

(b) Betrakta systemet i uppgift 2(a). Skulle det gå att ta fram information om detta system med hjälp av ett självsvängningsexperiment? Motivera ditt svar! (2p)

(c) Antag att man reglerar ett system med en PI-regulator och att det slutna systemets stegsvar innehåller en översläng trots att styrsignalen inte går i någon av sina begränsningar. Nämn två sätt som man ibland kan använda för att minska överslängens storlek utan att ändra K och T_i och utan att ha en modell av systemet. (2p)

3. Betrakta systemet

$$y(t) = G_1(p)u_1(t) + G_2(p)u_2(t),$$

där

$$G_1(s) = \frac{4}{0.3s + 1}$$

och

$$G_2(s) = \frac{1}{s+1}e^{-2s}.$$

Styrsignalen u_1 är begränsad till intervallet $[-1, 1]$ medan u_2 är begränsad till $[-10, 10]$. Designa en fungerande mitthållningsregulator för systemet. Använd en P-regulator för att generera u_1 och en PI-regulator för u_2. P-regulatorns förstärkning ska vara sådan att u_1 inte blir mättad vid ett enhetssteg i referenssignalen. Simulera stegsvaret för det slutna systemet. (10p)

4. (a) I många tillverkningsprocesser ingår det steg där en eller flera vätskor kontinuerligt ska blandas till en produkt. För att produktens sammansättning inte ska variera över tiden är det viktigt att de reglersystem som styr tillförseln av de olika vätskorna är lika snabba.

Betrakta en blandningsprocess där en syra ska spädas med vatten i en tank. Flödena av vatten och syra in i blandningstanken styrs av två ventiler och dynamiken hos den ventil som styr syraflödet kan approximeras med överföringsfunktionen

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

Denna ventil regleras av en PI-regulator med överföringsfunktion

$$F_{PI}(s) = \frac{5(s+1)}{2s}.$$

Denna regulator gör att det slutna systemet som beskriver hur syraflödet beror på en referenssignal är lika snabbt som det slutna systemet som beskriver vattenflödet.

För att kunna öka produktionstakten genomför man emellertid en uppgradering av processen. Det visar sig då att man behöver byta ut ventilen som styr vattenflödet mot en större ventil som man inte kan styra lika snabbt. För att inte få problem med att de båda delsystemen blir olika snabba måste man därför modifiera regulatorn som styr syraflödet.

Ta fram två tänkbara nya regulatorer för syraflödet. Den ena regulatorn ska kunna ersätta den befintliga PI-regulatorn och ska designas med hjälp av IMC-metoden. Den andra regulatorn ska bestå av den existerande PI-regulatorn kompletterad med en framkoppling från referenssignalen för att få önskad snabbhet. Sikta i båda fallen på att referensföljningsegenskaperna ska vara som för modellen

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

Simulera även stegsvaren från de båda slutna systemen som man får med dessa regulatorer. Vilken regulator ger bäst referensföljning? (8p)

(b) I det verkliga systemet har man problem med störningar på ingången till ventilprocessen. Simulera utsignalerna från de båda slutna systemen som man får med regulatorerna som designades i uppgift 4(a) när man har en stegstörning på systemets ingång. Vilken regulator ger bäst störningsundertryckning? (2p)

5. (a) Designa en MPC-regulator för systemet

$$\dot{x}(t) = \begin{pmatrix} -2 & 0 \\ 1 & -0.2 \end{pmatrix} x(t) + \begin{pmatrix} 1 \\ 0.2 \end{pmatrix} u(t)$$
$$z(t) = x(t)$$

och simulera det slutna systemet när man vill reglera båda tillstånden till noll från initialtillståndet

$$x(0) = \begin{pmatrix} 1 & 1 \end{pmatrix}^T.$$

Antag att alla tillstånd kan mätas och välj samplingstiden till 0.1 s. I filen `mpcsimulation.mdl` finns det ett simulinkschema som kan användas vid simuleringen. Observera att filerna

`mympccontroller.m`, `solvempcproblem.m`,
`blockrepeat.m` och `createpredictors.m`

används av blocket `MPC Controller` i `mpcsimulation.mdl`. Välj regulatorparametrarna så att följande krav blir uppfyllda.

- Det ska ta 2.0 ± 0.1 s för tillståndet $x_1(t)$ att nå intervallet $[-0.1, 0.1]$ och sedan stanna kvar där.
- Styrsignalen u ska hela tiden ligga i intervallet $[-1, 1]$.

(5p)

(b) Antag att man även har ett bivillkor att $z_1 - z_2$ aldrig får bli mindre än -1. Modifiera MPC-regulatorn från föregående deluppgift så att man kan garantera att även detta krav blir uppfyllt oavsett hur man trimmar regulatorn. (5p)