TENTAMEN I TSRT07 INDUSTRIELL REGLERTEKNIK

SAL: ISY:s datorsalar (Egypten, Asgård, Olympen) och MAI:s datorsalar (Glan)

TID: 2022-03-21 kl. 14:00–18:00

KURS: TSRT07 Industriell reglerteknik

PROVKOD: DAT1

INSTITUTION: ISY

ANTAL UPPGIFTER: 5

ANSVARIG LÄRARE: Martin Enqvist, tel. 013-281393

BESÖKER SALEN: cirka kl. 15:00 och 17:00

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 2022-04-22 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) Betrakta det tidskontinuerliga systemet

$$\dot{x}(t) = \begin{pmatrix} a_1 & a_2 \\ 0 & a_3 \end{pmatrix} x(t) + \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \end{pmatrix} u(t),$$
$$y(t) = \begin{pmatrix} c_1 & c_2 \end{pmatrix} x(t).$$

Om man antar att insignalen till systemet är styckvis konstant på sampelintervall av längd T_S kan man härleda en tidsdiskret systembeskrivning som ger en exakt överensstämmelse med det tidskontinuerliga systemet i samplingsögonblicken. Vilka poler kommer det tidsdiskreta systemet att ha? (Du kan anta att båda tillståndsbeskrivningarna är styr- och observerbara.) (4p)

(b) Betrakta ett system

$$z(t) = \frac{10}{p^3 + 14p^2 + 48p} u(t),$$
$$y(t) = \frac{1}{10p + 1} z(t)$$

där man kan mäta både $z(t)$ och $y(t)$. För att dra nytta av den extra mätsignalen vill man använda kaskadreglering med en yttre PI-regulator

$$F_1(s) = 1 + \frac{1}{20s}$$

och en P-regulator i den inre loopen. Vilket av följande tre val av förstärkning i P-regulatorn är mest lämpligt i detta fall. Motivera ditt svar!

(i) $K = 0.1$

(ii) $K = 5$

(iii) $K = 100$

(3p)

(c) Inom processindustrin används MPC-regulatorer ofta för överordnad reglering, det vill säga tillsammans med ett antal enklare regulatorer. Vad ska man speciellt tänka på när man ställer upp modellen som används internt i MPC-regulatorn i detta fall? Vad är det för typ av signaler som MPC-regulatorn ställer ut här? Kan bivillkor på styrsignalerna hanteras på samma sätt som i fallet att det bara är en MPC-regulator som styr systemet? (3p)

2. (a) Genomför ett stegsvarsexperiment med systemet

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

och anpassa en treparametermodell till stegsvaret. Använd sedan modellen för att ställa in en PI-regulator med hjälp av Åström-Hägglunds inställningsregler (den version som ger en maximal känslighetsfunktion på 1.4). Vad blir K och T_i? (5p)

(b) Komplettera PI-regulatorn med en neutral framkoppling från referenssignalen baserad på den approximativa treparametermodellen. Vad blir överföringsfunktionerna som definierar regulatorn? (4p)

(c) Vad av framkoppling från referenssignalen och återkoppling kräver mest kunskap om det system som man ska reglera? Motivera ditt svar! (1p)

3. (a) Antag att man är intresserad av att designa en regulator för systemet

$$\dot{x}(t) = \begin{pmatrix} -2 & -2 \\ 2 & 0 \end{pmatrix} x(t) + \begin{pmatrix} 2 \\ 0 \end{pmatrix} u(t),$$
$$y(t) = \begin{pmatrix} -0.5 & 1 \end{pmatrix} x(t).$$

PI-regulatorn

$$F(s) = 0.5\left(1 + \frac{1}{s}\right)$$

ger en acceptabel störningsundertryckning men för dåliga referensföljningsegenskaper. Komplettera PI-regulatorn med en framkoppling från referenssignalen. Man vill att stegsvaret från det slutna systemet ska likna det från ett första ordningens system med tidskonstant 1 och statisk förstärkning 1. Det är dock även viktigt att stegsvaret inte innehåller någon översläng. Ange de överföringsfunktioner som definierar regulatorn. Simulera även det slutna systemets stegsvar. (9p)

(b) Vilken egenskap hos systemet i uppgift 3(a) begränsar vilken referensföljning man kan åstadkomma? (1p)

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

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

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

$$x(0) = \begin{pmatrix} 9.0 & 1.5 \end{pmatrix}^T.$$

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.

- Tillståndet $x_1(t)$ ska styras till noll men det finns inte några krav på hur snabbt det ska gå.
- Det ska ta 1.0 ± 0.1 s för tillståndet $x_2(t)$ att nå intervallet $[-0.1, 0.1]$ och sedan stanna kvar där.
- Styrsignalen u_1 ska hela tiden ligga i intervallet $[-4, 4]$.
- Styrsignalen u_2 ska hela tiden ligga i intervallet $[-2, 2]$.

(7p)

(b) Betrakta ett system

$$\ddot{y} = u$$

där insignalen u är begränsad till intervallet $[-2,\ 2]$. Antag att man vill reglera systemet med en MPC-regulator som är baserad på en tillståndsmodell där $x_1 = y$ och $x_2 = \dot{y}$, där samplingstiden är 0.1 s och där prediktionshorisonten är $N = 40$. Man vill garantera stabilitet genom att använda metoden med sluttillståndsbivillkor och det, samt bivillkoren som följer av styrsignalbegränsningen, är de enda bivillkor som finns i MPC-problemet. Man startar systemet vid tiden noll och då gäller det att $y(0) = y_0$ och att $\dot{y}(0) = 0$. Förklara varför man kan få problem för vissa värden på konstanten y_0 och ange för vilka y_0 som MPC-regulatorn kommer att fungera som det är tänkt. (3p)

5. (a) Antag att man efter designen av en regulator tror att överföringsfunktionen

$$F(s) = \frac{s-1}{s^2 - 2s + 5}$$

borde kunna ge en regulator med önskvärda egenskaper. Vilken tidsdiskret överföringsfunktion $F_d(z)$ erhåller man om väljer att approximera $F(s)$ med hjälp av Eulers metod? Ligger polerna till $F(s)$ och $F_d(z)$ i respektive stabilitetsområde? Samplingstiden är 1 s. (3p)

(b) Eulers metod svarar mot variabelbytet

$$s = \frac{1 - z^{-1}}{T_S},$$

vilket också kan ses som en avbildning från s-planet till z-planet. Visa att punkter på den imaginära axeln i s-planet avbildas på en cirkel i z-planet. Räkna ut cirkelns mittpunkt och radie.

Tips: Börja med att räkna ut hur punkterna $s = 0$ och $s = \pm i/T_S$ avbildas. (4p)

(c) Visa att alla punkter

$$s = \frac{\alpha + i\beta}{T_S}$$

med $\alpha < 0$ avbildas i det inre av cirkeln som bestämdes i uppgift 5b. (3p)