

TENTAMEN I TSRT07 INDUSTRIELL REGLERTEKNIK

SAL: ISY:s datorsalar (Egypten, Olympen)

TID: 2022-06-09 kl. 8:00–12:00

KURS: TSRT07 Industriell reglerteknik

PROVKOD: 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 2022-06-30 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) Designa en IMC-regulator till systemet

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

Man vill att det slutna systemet ska ha samma stegsvar som referensmodellen

$$G_m(s) = \frac{1}{s + 1}. \quad (2p)$$

- (b) Antag att systemet

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

har en insignal som är styckvis konstant över samplingsintervall av längden 0.9 s. Härled en differensekvation som ger en exakt beskrivning av systemet i samplingsögonblicken. (3p)

- (c) I en viss tillämpning ska man reglera ett system som beskrivs av överföringsfunktionen

$$G(s) = \frac{15.7}{s - 2} e^{-8s}.$$

Eftersom systemet innehåller en ganska lång tidsfördröjning har man kommit på idén att använda en smithprediktor för att inte få ett slutet system med onödigt dålig prestanda. Förklara om detta är en bra idé och i så fall hur man ska tänka när man väljer regulatorparametrarna. (2p)

- (d) Man vill reglera systemet

$$\begin{aligned} x(k+1) &= \begin{pmatrix} 0.5 & 0.5 \\ 0.2 & 0.5 \end{pmatrix} x(k) + \begin{pmatrix} 1 \\ 0.1 \end{pmatrix} u(k), \\ z(k) &= \begin{pmatrix} 1 & 0 \end{pmatrix} x(k) \\ y(k) &= x(k) \end{aligned}$$

med en MPC-regulator och för att garantera stabilitet vill man använda metoden där man lägger till en straffterm i målfunktionen. Kommer detta att fungera? (3p)

2. (a) Genomför ett stegsvarexperiment med systemet

$$G(s) = \frac{-s + 3}{s^2 + 5s + 6}.$$

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 tre system som beskrivs av överföringsfunktionerna

$$G_1(s) = \frac{1}{s(s+1)}, \quad G_2(s) = \frac{0.5}{10s+1} \quad \text{och} \quad G_3(s) = \frac{0.5}{s+1}e^{-10s}.$$

Antag att man vill genomföra experiment med systemen för att bestämma approximativa modeller av dem och sedan använda dessa modeller för att ställa in en regulator för varje system. Para ihop de tre systemen med de tre modelleringsansatser och inställningsmetoder som anges nedan. Motivera ditt svar!

- (i) Genomför ett stegsvarexperiment med systemet och anpassa en modell

$$\frac{K_p}{sT+1}e^{-sL}$$

till stegsvaret. Använd lambdatrimning för inställning av en PI-regulator.

- (ii) Genomför ett självsvängningsexperiment med P-regulator med systemet och bestäm den kritiska förstärkningen K_u och den kritiska periodtiden T_u . Använd metoden för specifikation av punkt på nyquistkurvan för inställning av en PID-regulator.

- (iii) Genomför ett stegsvarexperiment med systemet och anpassa en modell

$$\frac{b}{s}e^{-sL}$$

till stegsvaret. Använd Ziegler-Nichols PID-inställningsregel.

(4p)

3. (a) Ett system som beskrivs av överföringsfunktionen

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

regleras med PID-regulatorn

$$F(s) = K \left(1 + \frac{1}{T_i s} + \frac{T_d s}{0.1 T_d s + 1} \right).$$

Komplettera PID-regulatorn med en neutral framkoppling baserad på modellen $G(s)$. Vad blir överföringsfunktionerna som definierar regulatorn? (4p)

- (b) Antag att man skulle vilja snabba upp referensföljningen i uppgift 3(a) genom att använda en ideal, icke-neutral framkoppling. Vilka egenskaper hos $G(s)$ begränsar vilken prestanda som kan uppnås? (2p)
- (c) Vad av framkoppling från referenssignalen och återkoppling kräver mest kunskap om det system som man ska reglera? Motivera ditt svar! (1p)
- (d) PID-regulatorn i uppgift 3(a) är angiven på parallellform. Skulle man kunna implementera den på serieform i fallet att $K = 0.5$, $T_i = 4$ och $T_d = 2$? I så fall, vilka värden får parametrarna i den seriella regulatorn? (3p)

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

$$\dot{x}(t) = \begin{pmatrix} -0.3 & 0.1 & 1 \\ -0.1 & -0.2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} x(t) + \begin{pmatrix} 1 & 0.2 \\ 0.2 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} u(t)$$
$$y(t) = x(t)$$
$$z(t) = x(t)$$

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

$$x(0) = (0.5 \quad 1 \quad 1.5)^T.$$

Välj samplingstiden till 0.2 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 1.5 ± 0.1 s för tillståndet $x_1(t)$ att nå intervallet $[-0.1, 0.1]$ och sedan stanna kvar där.
- Det ska ta 2.0 ± 0.1 s för tillståndet $x_3(t)$ att nå intervallet $[-0.1, 0.1]$ och sedan stanna kvar där.
- Båda styrsignalerna ska hela tiden ligga i intervallet $[-1, 1]$.

(7p)

- (b) Antag att man bara har möjlighet att använda en av styrsignalerna. Spelar det någon roll vilken av dem man väljer? (3p)

5. (a) I specifikationerna till ett visst reglersystem beskrivs systemets grundprinciper av sambanden

$$\begin{aligned}z_2(t) &= H_1(p)z_1(t), \\z_3(t) &= H_2(p)z_2(t), \\z_5(t) &= H_3(p)(z_4(t) - z_3(t))\end{aligned}$$

och

$$z_1(t) = H_4(p)(z_5(t) - z_2(t)).$$

Vilken regulatorstruktur är detta? Rita ett blockschema över systemet och markera vilka signaler och överföringsfunktioner i detta schema som svarar mot z_1, \dots, z_5 och H_1, \dots, H_4 ovan. (5p)

- (b) I filen `ex220609_5.mdl` finns det ett simulinkschema som kan användas för att simulera ett slutet system med en mitthållningsregulator. I detta system är styrsignalen u_1 snabb och noggrann men med begränsad kapacitet medan u_2 är långsammare och mindre noggrann men med större kapacitet. Ett vanligt problem med mitthållningsregulatorer är att u_2 :s reglering av u_1 mot sitt mittvärde stör systemets utsignal y så att insvängningen mot referenssignalens värde blir ganska långsam. Detta problem kan dock åtgärdas med en intern framkoppling från u_2 till u_1 i regulatorn. Med denna framkoppling beräknas u_1 som

$$u_1(t) = F_1(p)(r(t) - y(t)) + F_f(p)u_2(t),$$

där $F_f(p)$ är framkopplingslänken. Framkopplingen ska väljas så att det totala bidraget från u_2 till y via G_1 och G_2 blir noll. Vad blir överföringsfunktionen $F_f(s)$ i det aktuella fallet? Komplettera simulinkschemat med denna framkoppling och simulera det erhållna slutna systemet. Ser du någon förbättring av regleringen? (2p)

- (c) Betrakta återigen systemet med en mitthållningsregulator utan intern framkoppling från uppgift 5(b). I detta fall är båda regulatorerna F_1 och F_2 PI-regulatorer och man kan visa att det statiska reglerfelet för y är noll. Hur blir det om en av regulatorerna är en P-regulator istället? Hur blir det om båda är P-regulatorer? Motivera ditt svar med mer än simuleringar! (3p)