

TENTAMEN I TSRT07 INDUSTRIELL REGLERTEKNIK

SAL: ISY:s datorsalar (Olympen)

TID: 2022-08-26 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 2022-09-13 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) Ett system som beskrivs av överföringsfunktionen

$$G(s) = \frac{0.1s + 2}{s^2 + 3s + 1}$$

ska regleras med en P-regulator. Hur stor kan man välja regulatorförstärkningen utan att få ett instabilt slutet system om man använder en tidskontinuerlig P-regulator? Hur stor kan regulatorförstärkningen väljas om man använder en samplande P-regulator som ger en styckvis konstant insignal till systemet? Samplingstiden är 0.6 s. (4p)

- (b) Betrakta en kemisk tillverkningsprocess där två gaser ska reagera med varandra i en behållare under högt tryck och vid en hög temperatur och bilda en viss önskad produkt. Det förbrukas en hel del energi för att skapa det höga trycket och den höga temperaturen men det är viktigt att båda dessa storheter har rätt värden för att den önskade reaktionen ska äga rum. Ett för lågt eller högt tryck eller en för låg eller hög temperatur kan leda till att det skapas biprodukter som är skadliga för miljön. Sådana biprodukter kan också skapas om förhållandet mellan koncentrationerna av de båda gaserna inte är det rätta. Några utmaningar vid tillverkningen är att inflödena av de båda gaserna varierar ganska mycket och att det frigörs värme vid den kemiska reaktionen. Man kan dock påverka gasinflödena med hjälp av ventiler, u_1 och u_2 , och kyla eller värma behållaren med signalen u_3 . Man kan också mäta inflödena f_1 och f_2 och koncentrationerna c_1 och c_2 av de båda gaserna samt trycket p och temperaturen T i behållaren. Ge ett förslag på hur man med reglerteknik och genom att kombinera flera regulatorstrukturer kan göra produktionen mer miljövänlig och ge ett exempel på en miljövinst som man erhåller. Inför beteckningar för referenssignalerna och förklara för varje regulatorblock vad som är mätsignal, referenssignal och styrsignal. (6p)

2. (a) Man vill reglera systemet

$$G(s) = \frac{0.1s + 1}{s^3 + 3s^2 + s}$$

med en PID-regulator. Eftersom systemets dynamik i praktiken är okänd vill man genomföra ett självsvängningsexperiment med relä. Simulera ett sådant experiment och se till att amplituden i självsvängningen i systemets utsignal blir 0.1. Ställ in en PID-regulator

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

med hjälp av metoden för specificering av punkt på nyquistkurvan. Vilka värden får regulatorparametrarna? (6p)

- (b) Antag att man flyttar sensorn som mäter systemets utsignal så att det införs en tidsfördröjning på 0.8 s i systemet. Simulera det slutna systemet som man får om man använder regulatorn från uppgift 2(a) på systemet som innehåller en tidsfördröjning. Hur ser stegsvaret för det slutna systemet ut? Designa en smithprediktor utifrån PID-regulatorn från uppgift 2(a) och simulera det resulterande slutna systemet. Hur ser stegsvaret ut nu? (4p)

3. (a) Egenskaperna hos en viss likströmsmotor beskrivs av differential-ekvationen

$$2\dot{y}(t) = -y(t) + 2u(t),$$

där $y(t)$ är motorns varvtal och $u(t)$ är spänningen över motorn. För att kunna hålla ett konstant varvtal trots variationer i lasten reglerar man motorn med en PI-regulator med $K = 0.125$ och $T_i = 2$. Komplettera denna PI-regulator med en neutral framkoppling från referenssignalen. Vad blir överföringsfunktionerna som definierar regulatorn? Simulera stegsvaret för det slutna systemet med och utan framkopplingen. (6p)

- (b) Antag att man inte känner egenskaperna hos motorn i uppgift 3(a) exakt. Simulera stegsvaren för de slutna systemen med och utan framkopplingen i följande fall:
- (i) Motorns sanna statiska förstärkning är dubbelt så stor som i modellen.
 - (ii) Motorns sanna tidskonstant är dubbelt så stor som i modellen.
- Vilken regulator är mest känslig för modellfelen och vilket typ av modellfel påverkar reglerprestandan mest? (4p)

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

$$\begin{aligned}\dot{x}(t) &= \begin{pmatrix} -1 & 0.1 \\ 1 & -0.3 \end{pmatrix} x(t) + \begin{pmatrix} 0.1 \\ 0.4 \end{pmatrix} u(t) \\ z(t) &= \begin{pmatrix} 2 & 1 \end{pmatrix} x(t)\end{aligned}$$

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

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

och få signalen $z(t)$ att följa den konstanta referenssignalen $r(t) = 3$. Antag att alla tillstånd kan mätas och välj samplingstiden till 0.6 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 och modifiera `solvempcproblem.m` så att följande krav blir uppfyllda.

- Det ska ta 1.2 ± 0.1 s för signalen $z(t)$ att nå intervallet $[2.8, 3.2]$ och sedan stanna kvar där.
- Styrsignalen ska hela tiden ligga i intervallet $[-4, 4]$.

(7p)

- (b) Varför får man ett nollskilt stationärt reglerfel i uppgift 4(a)? Kommer man alltid att få detta när man använder MPC-reglering och har en nollskild referenssignal? Vad kan man göra åt detta problem?

(3p)

5. (a) Antag att man vill reglera ett system

$$G(s) = \frac{b}{s}$$

som består av en ren integration med hjälp av en P-regulator. Härled en generell inställningsregel för P-reglering av ett sådant system om man önskar sig ett slutet system på formen

$$G_c(s) = \frac{1}{T_a s + 1},$$

där T_a är en designparameter. (2p)

- (b) Betrakta återigen systemet

$$G(s) = \frac{b}{s}$$

från föregående uppgift. Härled en generell inställningsregel för PI-reglering av detta system om man önskar sig ett slutet system på formen

$$G_c(s) = \frac{2T_a s + 1}{T_a^2 s^2 + 2T_a s + 1},$$

där T_a är en designparameter. (5p)

- (c) Ta fram ett uttryck för utsignalen från det slutna systemet i uppgift 5(b) när referenssignalen är noll men det finns en stegstörning på ingången till $G(s)$. Vid vilken tidpunkt når denna utsignal sitt maximala värde och vad är detta värde? Antag att stegstörningen är ett positivt steg med amplitud ett som kommer vid tiden $t = 0$. (3p)