

TENTAMEN I TSRT07 INDUSTRIELL REGLERTEKNIK

SAL: Datorsalar i B-huset (Egypten, Asgård, Olympen, SU24, Boren)

TID: 2024-03-18 kl. 14:00–18:00

KURS: TSRT07 Industriell reglerteknik

MODUL: 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 2024-04-12 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 matlab-plottar med kommandona `title` och `gtext` och i scopeplottar i Simulink genom att högerklicka i dem, välja `Configuration properties` och lägga till AID-numret under `Title`. I simulinkscheman kan man dubbelklicka på något blankt ställe och sedan skriva in text.

1. (a) Betrakta ett system med en styckvis konstant insignal $u(t)$ och en utsignal $y(t)$. Antag att man har kommit fram till att differensekvationen

$$y(k) - 1.78y(k-1) + 0.78y(k-2) = 0.46u(k-1) + 0.42u(k-2)$$

exakt beskriver sambandet mellan in- och utsignalen i samplingstidpunkterna. Denna differensekvation har tagits fram genom sampling av en tidskontinuerlig systembeskrivning för en styckvis konstant insignal. Vilka poler och vilken statisk förstärkning har det tidskontinuerliga systemet? Samplingstiden är $T_S = 1$ s. (3p)

- (b) Bestäm en regulator till ett system som beskrivs av överföringsfunktionen

$$G(s) = \frac{4}{0.4s + 1}$$

så att det slutna systemet får statisk förstärkning 1 och tidskonstant 2. (3p)

- (c) Betrakta en tidsdiskret regulator med överföringsfunktionen

$$F(z) = \frac{3.5z - 0.5}{z - 1}.$$

Regulatorn har tagits fram genom att man har transformerat en tidskontinuerlig regulator till diskret tid med Tustins formel. Samplingstiden är 1 s. Är detta en P-, PI-, PD- eller PID-regulator? Vilka värden har regulatorparametrarna K , T_i och T_d ? (4p)

2. (a) Ett system som beskrivs av överföringsfunktionen

$$G(s) = \frac{10}{s^3 + 12s^2 + 2s + 1}$$

ska regleras med en PID-regulator. Simulera ett självvängningsexperiment (med en P-regulator) med systemet och bestäm två PID-inställningar, dels en enligt Ziegler-Nichols inställningsregel och dels en genom specificering av punkt på nyquistkurvan. Använd PID-regulatorer på formen

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

Simulera stegsvaren för de slutna systemen. Vilken regulator ger minst översläng? (8p)

- (b) Spelar det någon roll om man väljer att implementera PID-regulatorn med inställningarna från uppgift 2(a) på parallell- eller serieform? (2p)

3. Betrakta ett system som beskrivs av överföringsfunktionen

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

och antag att man har kommit fram till att en tidskontinuerlig PI-regulator med $K = 1$ och $T_i = 2.5$ ger ett slutet system med lämpliga egenskaper när det gäller störningsundertryckningen. I den aktuella tillämpningen vill man dock ha en långsammare referensföljning än den man får med enbart PI-reglering.

- (a) Komplettera PI-regulatorn med en tidskontinuerlig framkoppling från referenssignalen så att överföringsfunktionen från referenssignal till utsignal blir

$$G_m(s) = \frac{0.006}{s^3 + 0.6s^2 + 0.11s + 0.006}.$$

Vad blir överföringsfunktionerna som definierar regulatorn? (2p)

- (b) Beräkna en tidsdiskret modell $G_d(z)$ som exakt motsvarar $G(s)$ under antagandet att insignalen till $G(s)$ är styckvis konstant på samplingsintervall av längd 0.2s. Vilka nollställen får $G_d(z)$? (2p)
- (c) Antag att man inte har möjlighet att implementera en tidskontinuerlig regulator och att man därför måste ta fram en samplande PI-regulator med framkoppling som har ungefär samma egenskaper som den tidskontinuerliga regulatorn. Antag även att samplingstiden är 0.2s. En tidsdiskret approximation av den tidskontinuerliga PI-regulatorn kan här enkelt tas fram med hjälp av Tustins formel, men det finns två sätt att ta fram framkopplingsdelen av regulatorn:
- Utgå från framkopplingen i uppgift 3(a) och ta fram en tidsdiskret framkoppling genom att approximera den tidskontinuerliga regulatorns överföringsfunktioner.
 - Utgå från den tidsdiskreta modellen $G_d(z)$ från uppgift 3(b) och designa framkopplingen direkt i diskret tid.

Beskriv de moment som måste utföras om man ska designa en fungerande tidsdiskret framkoppling med metod (i) respektive (ii) i det aktuella fallet. Du behöver dock inte beräkna den tidsdiskreta regulatorn. Kan du se någon tydlig fördel med någon av metoderna? (6p)

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

$$\dot{x}(t) = \begin{pmatrix} -4 & 0 \\ -1 & -0.4 \end{pmatrix} x(t) + \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0.5 & 1 \end{pmatrix} u(t)$$
$$z(t) = x(t)$$

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

$$x(0) = (1.4 \quad 2.0)^T.$$

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 0.4 ± 0.1 s för tillståndet $x_1(t)$ att nå intervallet $[-0.1, 0.1]$ och sedan stanna kvar där.
- Det ska ta 1.2 ± 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 $[-1, 1]$.
- Styrsignalen u_2 ska hela tiden ligga i intervallet $[-2, 2]$.

(7p)

- (b) 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)

5. Betrakta systemet

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

där

$$G_1(s) = \frac{2}{0.5s + 1}$$

och

$$G_2(s) = \frac{10}{(10s + 1)(20s + 1)}$$

och där båda styrsignalerna är begränsade till intervallet $[-1, 1]$. Styrsignalen u_1 påverkar utsignalen snabbare än u_2 medan u_2 stationärt kan ge ett större bidrag till utsignalen än u_1 . I ett tidigare skede har man satt $u_2 = 0$ och designat en regulator

$$F_1(s) = 1 + \frac{1}{0.5s}$$

för reglering av y med hjälp av u_1 . Tanken är att man ska införa mitthållningsreglering för att utnyttja att man har två styrsignaler. Designa två fungerande mitthållningsregulatorer och simulera utsignalen från det slutna systemet vid ett enhetssteg i referenssignalen r som anger det önskade värdet på y . I den första mitthållningsregulatorn ska styrsignalen u_1 beräknas med sambandet

$$u_1(t) = F_1(p)(r(t) - y(t))$$

och i den andra mitthållningsregulatorn ska sambandet

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

användas. I detta fall ska $F_f(p)$ väljas så att det totala bidraget från u_2 till y via $G_1(p)$ och $G_2(p)$ blir noll. I båda regulatorerna ska u_2 beräknas som

$$u_2(t) = F_2(p)(r_u(t) - u_1(t))$$

där $F_2(p)$ är en PI-regulator som ska ha samma parametrar i båda fallen. Ange överföringsfunktionerna för $F_2(p)$ och $F_f(p)$ och bifoga plottar av stegsvaren för de båda slutna systemen. (10p)