UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Peperiksaan Semester Pertama
Sidang Akademik 2006/2007

Oktober – November 2006

EKC 462 – Sistem Kawalan Lanjutan Untuk Proses Industri

Masa : 3 jam

Sila pastikan bahawa kertas peperiksaan ini mengandungi LAPAN muka surat yang bercetak dan DUA muka surat Lampiran sebelum anda memulakan peperiksaan ini.

Arahan: Jawab mana-mana **EMPAT (4)** soalan.

Pelajar boleh menjawab semua soalan dalam Bahasa Malaysia. Jika pelajar ingin menjawab dalam Bahasa Inggeris, pelajar hendaklah menjawab sekurang-kurangnya SATU soalan dalam Bahasa Malaysia.

...2/-

1. Suatu proses mempunyai ungkapan rangkap pindah seperti di bawah:

$$\begin{bmatrix} Y_1(s) \\ Y_2(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dfrac{4e^{-4s}}{7s+1} & \dfrac{6e^{-3s}}{5s+1} \\ \dfrac{6e^{-2s}}{12s+1} & \dfrac{6e^{-3s}}{10s+1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1(s) \\ U_2(s) \end{bmatrix}$$

[a] Lukiskan gambarajah blok yang mewakili ungkapan matrik rangkap pindah tersebut.

[4 markah]

[b] Lukiskan gambarajah blok yang mencadangkan struktur sistem kawalan nyahgandingan. Terangkan dengan jelas fungsi setiap gambarajah blok tersebut.

[6 markah]

[c] Cadangkan satu skema kawalan unggul bagi sistem kawalan nyahgandingan dengan menggunakan data yang diberikan dalam matrik rangkap pindah proses. Terangkan dengan jelas kriteria rekabentuk anda.

[12 markah]

[d] Jelaskan bagaimana sistem kawalan nyahgandingan boleh dipermudahkan untuk tujuan perlaksanaan secara praktikal. Apakah kesan langkah pemudahan kepada sistem kawalan tersebut?

[3 markah]

1. A process has the following transfer function description:

$$\begin{bmatrix} Y_1(s) \\ Y_2(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dfrac{4e^{-4s}}{7s+1} & \dfrac{6e^{-3s}}{5s+1} \\ \dfrac{6e^{-2s}}{12s+1} & \dfrac{6e^{-3s}}{10s+1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1(s) \\ U_2(s) \end{bmatrix}$$

[a] Draw a block diagram representation of the transfer function matrix

[4 marks]

[b] Draw a block diagram proposing the structure of a decoupling control system. Clearly state the function of each block.

[6 marks]

[c] Design an ideal decoupling control scheme using the data provided in the process transfer function matrix. Clearly indicate your design criteria

[12 marks]

...3/-

[d] Indicates how the decoupling control system may be simplified based upon practical consideration. What are the consequences of any simplification made?

[3 marks]

2. [a] Dengan mengambil kira satu sistem dengan dua masukan, dua keluaran yang mempunyai ungkapan rangkap pindah berikut:

$$[G(s)] = \begin{bmatrix} \frac{1}{s+2} & \frac{10}{s+1} \\ \frac{1}{s+5} & \frac{5}{s+3} \end{bmatrix}$$

[i] Tentukan RGA untuk sistem ini pada G(0)?

[5 markah]

[ii] Pasangan masukan-keluaran yang manakah lebih sesuai digunakan? Sila tentusahkan jawapan anda.

[3 markah]

[b] Cadangkan satu strategi sistem kawalan ramalan model(MPC) untuk proses berikut

$$[Gp(s)] = \left[\frac{e^{-6s}}{10s+1}\right] \qquad Gv = Gm = 1$$

Pilih nilai-nilai N berdasarkan pelengkapan 95 % sambutan langkah dan $\Delta t = 2.0$. Dapatkan gandaan kawalan Kc dengan parameter rekabentuk yang berikut:

Ufuk kawalan M = 1, ufuk ramalan P = 10, berat keluaran Q = I, dan berat masukan R = 0.

[17 markah]

2. *[a] Consider a two-input, two-output system with the transfer function of:*

$$[G(s)] = \begin{bmatrix} \frac{1}{s+2} & \frac{10}{s+1} \\ \frac{1}{s+5} & \frac{5}{s+3} \end{bmatrix}$$

[i] Determine the RGA of this system at G(0)?

[5 marks]

[ii] Which input-output pairing should be preferred? Please justify your answer.

[3 marks]

[b] *Design a model predictive control (MPC) strategy for the process*

$$[Gp(s)] = \left[\frac{e^{-6s}}{10s+1}\right] \qquad Gv = Gm = 1$$

Select a value of N based on 95% completion of the step response and $\Delta t = 2.0$. Obtain the controller gain Kc with the following design parameters:

*Control horizon M = 1, Prediction Horizon, P = 10, output weight Q = **I**, and input weight R = 0.*

[17 marks]

3. [a] Kenapa skema kawalan lazim adalah kurang berkesan jika dibandingkan dengan skema sistem kawalan ramalan model? Sila jelaskan jawapan anda.

[5 markah]

[b] Dalam perlaksanaan MPC di dalam loji bagi suatu proses tertentu, ada beberapa langkah yang terlibat. Nyatakan dan terangkan secara ringkas langkah yang terlibat dalam perlaksanaan MPC.

[8 markah]

[c] Satu proses termasuk penderia dan injap kawalan boleh diungkapkan sebagai model berikut:

$$g_p(s) = \frac{Ke^{-\theta s}}{s}$$

Terbitkan parameter-parameter pengawal PID menggunakan Kaedah Sintesis Terus.

Diberi: Penapis, f, ialah

$$f = \frac{(2\lambda - C)s + 1}{(\lambda\lambda + 1)^2} \qquad \text{di mana} \qquad C = \left.\frac{d\tilde{g}_{p+}}{ds}\right|_{s=0}$$

dan penghampiran masa-lengah ialah $e^{-\theta s} \cong 1 - \theta s$

[12 markah]

3. *[a] Why the conventional control schemes are less effective compare to model predictive control (MPC) schemes? Clearly justify your answer.*

[5 marks]

[b] In implementation of MPC in the plant or for the certain process, there is a couple of steps involve. Please indicate and briefly explained the steps involve in implementing MPC.

[8 marks]

...5/-

[c] *A process including sensor and control valve can be modelled by:*

$$g_p(s) = \frac{Ke^{-\theta s}}{s}$$

Derive the PI controller settings using Direct Synthesis Method.

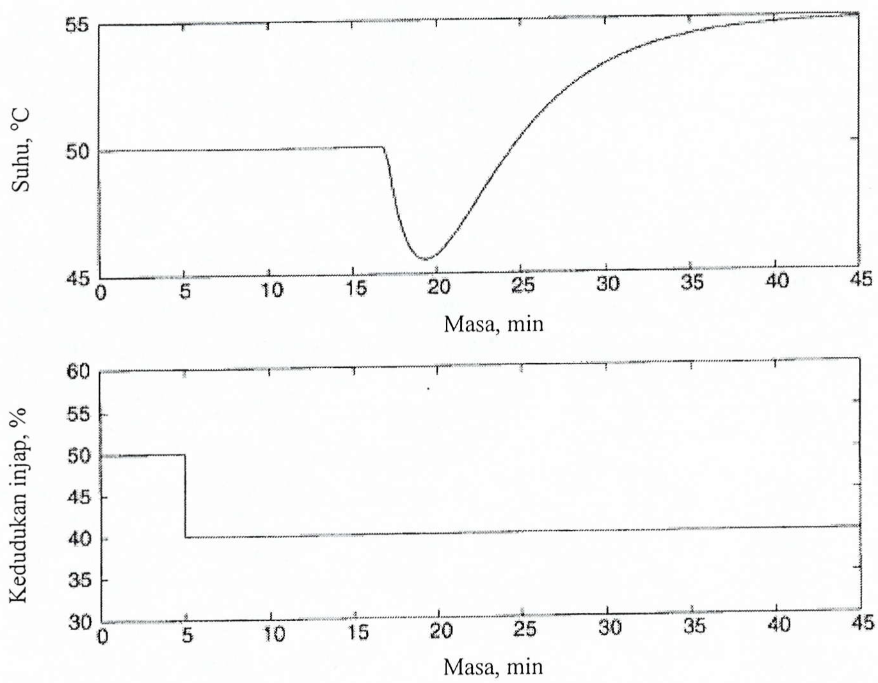
Given: Filter, f, is

$$f = \frac{(2\lambda - C)\,s + 1}{(\lambda s + 1)^2} \qquad \textit{where } C = \left.\frac{d\tilde{g}_{p+}}{ds}\right|_{s=0}$$

and time-delay approximation is $e^{-\theta s} \cong 1 - \theta\, s$

[12 marks]

4. [a] Reaktor lapisan terpadat selalunya menunjukkan kelakuan sambutan songsang. Rajah S. 4. [a] menunjukkan kelakuan satu sambutan langkah bagi reaktor lapisan terpadat. Satu pengurangan langkah bagi kedudukan injap stim telah dibuat pada masa t = 5 minit.



Rajah S.4. [a] : Kelakuan Sambutan Langkah bagi Satu Reaktor Lapisan Terpadat

Proses model (unit masa ialah minit) yang mewakili proses tersebut telah dibina seperti berikut:

$$\tilde{g}_p(s) = \frac{-0.5(-10s + 1)e^{-12s}}{(5s + 1)(3s + 1)}$$

[i] Apakah unit bagi gandaan proses tersebut?

[ii] Rekabentukkan Kawalan Model Dalam (IMC) bagi proses ini. Gunakan pemfaktoran lulus-semua bagi RHP sifar dan andaikan bahawa q(s) adalah separuh wajar.

[iii] Dengan mengandaikan model adalah sempurna, plot secara kualitatif bagaimana sambutan suhu terhadap perubahan langkah titik set 1°C.

[13 markah]

[b] Gunakan tatacara rekabentuk IMC-asas PID untuk mencari pengawal PID bagi rangkap pindah tertib kedua berikut:

$$\tilde{g}_p(s) = \frac{k_p}{\tau^2 s^2 + 2\zeta\zeta s + 1}$$

Petunjuk: Rekabentukkan IMC dengan membenarkan pengawal tersebut separuh wajar. Apakah tertib penapis yang anda perolehi?

[i] Carikan parameter-parameter bagi PID, k_c, τ_I, τ_D, sebagai fungsi parameter-parameter proses model, k_p, τ, ζ dan faktor penapis, λ.

[ii] Bagi model yang sempurna, plotkan sambutan gelung tertutup bagi y terhadap perubahan langkah titik set dalam, r (sebagai fungsi λ). (Tunjukkan gambarajah blok kawalan anda).

Diberi: $\lambda = 2$ minit, $\zeta = 0.8$, dan $k_p = 5.25$ psig/gpm

[12 markah]

4. *[a] Packed-bed reactors often exhibit "wrong way" (inverse response) behavior. Figure Q. 4. [a] shows a step response behavior for a packed-bed reactor. A step decrease in steam valve position was made at t = 5 minutes.*

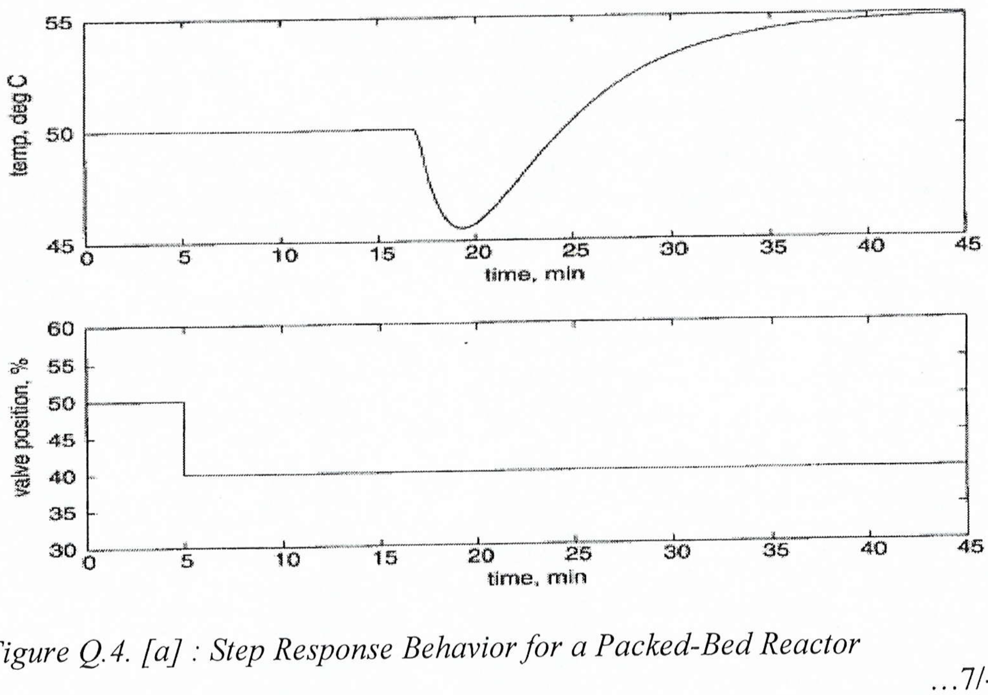


Figure Q.4. [a] : Step Response Behavior for a Packed-Bed Reactor

The following process model (the time unit is minutes) that represents the process has been developed:

$$\tilde{g}_p(s) = \frac{-0.5(-10s+1)e^{-12s}}{(5s+1)(3s+1)}$$

[i] *What are the units for the process gain?*

[ii] *Design an Internal Model Control (IMC) for this process. Use the all-pass factorization for the RHP zero, and assume that q(s) is semi proper.*

[iii] *Assuming a perfect model, plot qualitatively how the temperature will respond to a step set point change of 1°C.*

[13 marks]

[b] *Use the IMC-based PID design procedure to find the PID controller for a second-order transfer function:*

$$\tilde{g}_p(s) = \frac{k_p}{\tau^2 s^2 + 2\zeta\zeta s + 1}$$

Hint: First design the IMC, assuming that you will allow the controller to be improper. What order filter do you find?

[i] *Find the PID parameters, k_c, τ_I, τ_D, as a function of the process model parameters, k_p, τ, ζ and the filter factor, λ.*

[ii] *For a perfect model, plot the closed-loop response of y to a step change in set point, r (as a function of λ). (Show your control block diagram).*

Given: $\lambda = 2$ minutes, $\zeta = 0.8$, and $k_p = 5.25$ psig/gpm

[12 marks]

5. [a] Terangkan secara ringkas lima peraturan untuk merekabentuk kawalan lata.

[5 markah]

[b] Apakah kawalan suai dan mengapa ia diperlukan dalam kawalan proses kimia?

[2 markah]

[c] Apakah pemampas "Smith"? Lukiskan gambarajah bloknya dan terbitkan fungsi rangkap pindah gelung tertutup titik setnya. Anggapkan bahawa tiada ralat pada model.

[5 markah]

...8/-

[d] Pemampas "Smith" digunakan bersama proses dengan pengamir dan masa-lengah seperti berikut:

$$g_p(s) = \frac{2}{s} e^{-3s}$$

[i] Terbitkan rangkap gelung tertutup bagi gangguan, Y/D.

[ii] Bagi gangguan satu unit langkah dan g_d = g, tunjukkan bahawa pengawal PI tidak akan menghapuskan ofset walaupun model adalah sempurna.

Diberi:

Peraturan L'Hopital's:
Jika $\lim_{x \to c} f(x) = 0$ dan $\lim_{x \to c} g(x) = 0$ atau $\lim_{x \to c} f(x) = \infty$ dan $\lim_{x \to c} g(x) = \infty$, maka

$\lim_{x \to c} \frac{f(x)}{g(x)} = \lim_{x \to c} \frac{f'(x)}{g'(x)}$, c samada nombor terhingga atau ∞.

[13 markah]

5. *[a] Briefly explain the five criterias to design a cascade control.*

[5 marks]

[b] What is adaptive control and why it is needed in chemical process control?

[2 marks]

[c] What is Smith Predictor? Draw its block diagram and derive the closed-loop set point transfer function. Assume that there is no model error.

[5 marks]

[d] Smith predictor is to be used with an integrator-plus-time-delay process:

$$g_p(s) = \frac{2}{s} e^{-3s}$$

[i] Derive the closed-loop disturbances transfer function, Y/D.

[ii] For a unit step disturbance and g_d = g, shows that PI control will not eliminate offset even when the model is known perfectly.

Given:

L'Hopital's Rules:
If $\lim_{x \to c} f(x) = 0$ and $\lim_{x \to c} g(x) = 0$ *or* $\lim_{x \to c} f(x) = \infty$ and $\lim_{x \to c} g(x) = \infty$, *then*

$\lim_{x \to c} \frac{f(x)}{g(x)} = \lim_{x \to c} \frac{f'(x)}{g'(x)}$, *c is either a finite number or* ∞.

[13 marks]

- oooOooo -

Lampiran

Table Laplace Transforms for Various Time-Domain Functions[a]

$f(t)$	$F(s)$
1. $\delta(t)$ (unit impulse)	1
2. $S(t)$ (unit step)	$\frac{1}{s}$
3. t (ramp)	$\frac{1}{s^2}$
4. t^{n-1}	$\frac{(n-1)!}{s^n}$
5. e^{-bt}	$\frac{1}{s+b}$
6. $\frac{1}{\tau}e^{-t/\tau}$	$\frac{1}{\tau s+1}$
7. $\frac{t^{n-1}e^{-bt}}{(n-1)!}$ $(n>0)$	$\frac{1}{(s+b)^n}$
8. $\frac{1}{\tau^n(n-1)!}t^{n-1}e^{-t/\tau}$	$\frac{1}{(\tau s+1)^n}$
9. $\frac{1}{b_1-b_2}(e^{-b_2t}-e^{-b_1t})$	$\frac{1}{(s+b_1)(s+b_2)}$
10. $\frac{1}{\tau_1-\tau_2}(e^{-t/\tau_1}-e^{-t/\tau_2})$	$\frac{1}{(\tau_1 s+1)(\tau_2 s+1)}$
11. $\frac{b_3-b_1}{b_2-b_1}e^{-b_1t}+\frac{b_3-b_2}{b_1-b_2}e^{-b_2t}$	$\frac{s+b_3}{(s+b_1)(s+b_2)}$
12. $\frac{1}{\tau_1}\frac{\tau_1-\tau_3}{\tau_1-\tau_2}e^{-t/\tau_1}+\frac{1}{\tau_2}\frac{\tau_2-\tau_3}{\tau_2-\tau_1}e^{-t/\tau_2}$	$\frac{\tau_3 s+1}{(\tau_1 s+1)(\tau_2 s+1)}$
13. $1-e^{-t/\tau}$	$\frac{1}{s(\tau s+1)}$
14. $\sin\omega t$	$\frac{\omega}{s^2+\omega^2}$
15. $\cos\omega t$	$\frac{s}{s^2+\omega^2}$
16. $\sin(\omega t+\phi)$	$\frac{\omega\cos\phi+s\sin\phi}{s^2+\omega^2}$
17. $e^{-bt}\sin\omega t$ } b, ω real	$\frac{\omega}{(s+b)^2+\omega^2}$
18. $e^{-bt}\cos\omega t$ } b, ω real	$\frac{s+b}{(s+b)^2+\omega^2}$
19. $\frac{1}{\tau\sqrt{1-\zeta^2}}e^{-\zeta t/\tau}\sin(\sqrt{1-\zeta^2}\,t/\tau)$ $(0\le\lvert\zeta\rvert<1)$	$\frac{1}{\tau^2s^2+2\zeta\tau s+1}$
20. $1+\frac{1}{\tau_2-\tau_1}(\tau_1e^{-t/\tau_1}-\tau_2e^{-t/\tau_2})$ $(\tau_1\neq\tau_2)$	$\frac{1}{s(\tau_1 s+1)(\tau_2 s+1)}$
21. $1-\frac{1}{\sqrt{1-\zeta^2}}e^{-\zeta t/\tau}\sin[\sqrt{1-\zeta^2}\,t/\tau+\psi]$; $\psi=\tan^{-1}\frac{\sqrt{1-\zeta^2}}{\zeta}$, $(0\le\lvert\zeta\rvert<1)$	$\frac{1}{s(\tau^2s^2+2\zeta\tau s+1)}$
22. $1-e^{-\zeta t/\tau}[\cos(\sqrt{1-\zeta^2}\,t/\tau)+\frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}\sin(\sqrt{1-\zeta^2}\,t/\tau)]$ $(0\le\lvert\zeta\rvert<1)$	$\frac{1}{s(\tau^2s^2+2\zeta\tau s+1)}$
23. $1+\frac{\tau_3-\tau_1}{\tau_1-\tau_2}e^{-t/\tau_1}+\frac{\tau_3-\tau_2}{\tau_2-\tau_1}e^{-t/\tau_2}$ $(\tau_1\neq\tau_2)$	$\frac{\tau_3 s+1}{s(\tau_1 s+1)(\tau_2 s+1)}$
24. $\frac{df}{dt}$	$sF(s)-f(0)$
25. $\frac{d^nf}{dt^n}$	$s^nF(s)-s^{n-1}f(0)-s^{n-2}f^{(1)}(0)-\cdots-sf^{(n-2)}(0)-f^{(n-1)}(0)$
26. $f(t-t_0)S(t-t_0)$	$e^{-t_0s}F(s)$

[a]Note that $f(t)$ and $F(s)$ are defined for $t\ge0$ only.