
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Peperiksaan Semester Pertama
Sidang Akademik 2005/2006

November 2005

EKC 462 – Sistem Kawalan Lanjutan Untuk Proses Industri

Masa : 3 jam

Sila pastikan bahawa kertas peperiksaan ini mengandungi LAPAN muka surat yang bercetak 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.

1. [a] Terangkan secara ringkas konsep asas Pengawal Ramalan Model (MPC).
[3 markah]
- [b] Satu ciri penting MPC adalah pendekatan ufuk menyurut. Terangkan pendekatan ini dengan berbantuan lakaran.
[5 markah]
- [c] Terbitkan model ramalan sambutan langkah terhingga bagi satu sistem SISO. Tuliskan semula model ramalan tersebut di dalam tatatanda reaktor-matriks dan kenalpasti matriks dinamik.
[12 markah]
- [d] Masalah pengoptimuman MPC secara asasnya adalah masalah kawalan gegelung-terbuka. Terangkan bagaimana suapbalik dilaksanakan di dalam MPC.
[5 markah]

1. [a] *Explain briefly the basic concept of Model Predictive Controller (MPC).*
[3 marks]
- [b] *A distinguishing feature of MPC is the receding horizon approach. Explain this approach with the help of a sketch.*
[5 marks]
- [c] *Derive a finite step response prediction model for a SISO system. Rewrite this prediction model in vector-matrix notation and identify the dynamic matrix.*
[12 marks]
- [d] *The optimization problem of MPC is essentially an open-loop control problem. Explain how the feedback is implemented in MPC.*
[5 marks]

2. [a] Bina satu rekabentuk Pengawal Ramalan Model (MPC) bagi proses

$$G_p(s) = \frac{e^{-6s}}{(10s+1)} \quad G_v = G_m = 1$$

Pilih suatu nilai N berdasarkan sambutan langkah 95% lengkap dan $\Delta t = 2$. Dapatkan gandaan pengawal, K_c dengan parameter-parameter rekabentuk yang berikut:

Ufuk kawalan $M = 1$, ufuk ramalan $P = 10$, berat keluaran $Q = \mathbf{I}$, dan berat masukan $R = 0$.

[20 markah]

- [b] Pengendalian kekangan sistematik dianggap sebagai suatu ciri penting MPC. Terangkan kekangan-kekangan berlainan yang timbul di dalam masalah kawalan dan bagaimana ianya ditangani di dalam MPC.

[5 markah]

...3/-

2. [a] Design a model predictive controller (MPC) for the process

$$G_p(s) = \frac{e^{-6s}}{(10s+1)} \quad G_v = G_m = 1$$

Select a value of N based on 95% completion of the step response and $\Delta t = 2$. Obtain the controller gain K_c with the following design parameters.

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

[20 marks]

- [b] Systematic constraint handling is considered as an important feature of MPC. Explain the various constraints that arise in a control problem and how they are handled in MPC.

[5 marks]

3. [a] Sebuah turus penyulingan mempunyai matriks rangkap pindah 2×2 yang berikut:

$$G_{M(s)} = \begin{bmatrix} \frac{34}{(54s+1)(0.5s+1)^2} & \frac{-44.7}{(114s+1)(0.5s+1)^2} \\ \frac{31.6}{(78s+1)(0.5s+1)^2} & \frac{-45.2}{(42s+1)(0.5s+1)^2} \end{bmatrix}$$

Kirakan nilai RGA dan kemukakan cadangan pasangan yang sesuai antara pembolehubah-pembolehubah.

[6 markah]

- [b] Terangkan bagaimana analisis nilai tunggal membantu di dalam menentukan samaada suatu sistem pembolehubah-berbilang boleh dikawal dengan senang atau tidak. Matriks nilai tunggal bagi suatu proses diberi di bawah:

$$\Sigma(K) = \begin{bmatrix} 10.1 & 0 \\ 0 & 0.1 \end{bmatrix}$$

Ulas kebolehkawalan proses di atas.

[4 markah]

- [c] Salah satu strategi alternatif bagi menghadapi interaksi gegelung kawalan yang tidak diinginkan adalah menggunakan skema kawalan nyahgandingan. Terangkan skema kawalan nyahgandingan dengan berbantuan gambarajah blok bagi proses 2×2 dengan konfigurasi kawalan 1-1/2-2. Terbitkan juga ungkapan bagi penyahgandingan unggul.

[15 markah]

...4/-

3. [a] A distillation column has the following 2 x 2 transfer function matrix:

$$G_{M(s)} = \begin{bmatrix} \frac{34}{(54s+1)(0.5s+1)^2} & \frac{-44.7}{(114s+1)(0.5s+1)^2} \\ \frac{31.6}{(78s+1)(0.5s+1)^2} & \frac{-45.2}{(42s+1)(0.5s+1)^2} \end{bmatrix}$$

Calculate the values of RGA and recommend a suitable pairing between the variables.

[6 marks]

- [b] Explain how the singular value analysis helps in determining whether a multivariable system is easily controllable or not. The singular value matrix of a process is given below:

$$\Sigma(K) = \begin{bmatrix} 10.1 & 0 \\ 0 & 0.1 \end{bmatrix}$$

Comment on the controllability of the above process.

[4 marks]

- [c] One of the alternative strategies for dealing with undesirable control loop interactions is to use a decoupling control scheme. Explain the decoupling control scheme with the help of a block diagram for a 2 x 2 process with 1-1/2-2 control configuration. Also derive an expression for an ideal decoupler.

[15 marks]

4. [a] Terbitkan ungkapan-ungkapan bagi parameter-parameter pengawal PI untuk proses FOPTD dan bandingkan dengan menggunakan:-

[i] Cara sintesis terus

[ii] Cara IMC

[12 markah]

- [b] Terangkan apakah Peramal Smith. Lukiskan gambarajah bloknnya dan terbitkan rangkap pindah set titik gelung tertutup. Anggapkan tiada ralat model.

[7 markah]

- [c] Shinskey mencadangkan satu pemampas masa-lengah dalam bentuk,

$$G_c = K_c \left(\frac{1 + \tau_I s}{1 + \tau_I s - e^{-\delta s}} \right) \text{ bagi proses FOPTD, dengan } K_c = 1/K_p \text{ dan } \tau_I = \tau.$$

[i] Terbitkan rangkap pindah gelung tertutup dan tunjukkan bahawa masa-lengah dihapuskan daripada persamaan ciri.

[ii] Adakah sambutan gelung tertutup akan menunjukkan ciri terlajak?

[6 markah]

...5/-

4. [a] Derive the expressions for the parameters of a PI controller for a FOPTD process and compare them using

[i] direct synthesis method

[ii] IMC method

[12 marks]

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

[7 marks]

[c] Shinskey has proposed a delay-time compensator of the form,

$$G_c = K_c \left(\frac{1 + \tau_I s}{1 + \tau_I s - e^{-\delta s}} \right) \text{ for a FOPTD process, with } K_c = 1/K_p \text{ and } \tau_I = \tau.$$

[i] Derive the closed-loop transfer function and show that the time delay is eliminated from characteristic equation.

[ii] Will the closed-loop response exhibit overshoot?

[6 marks]

5. [a] Apakah kawalan suai dan kawalan memilih? Berikan contoh-contoh di mana kedua-duanya boleh digunakan di dalam proses-proses kimia.

[5 markah]

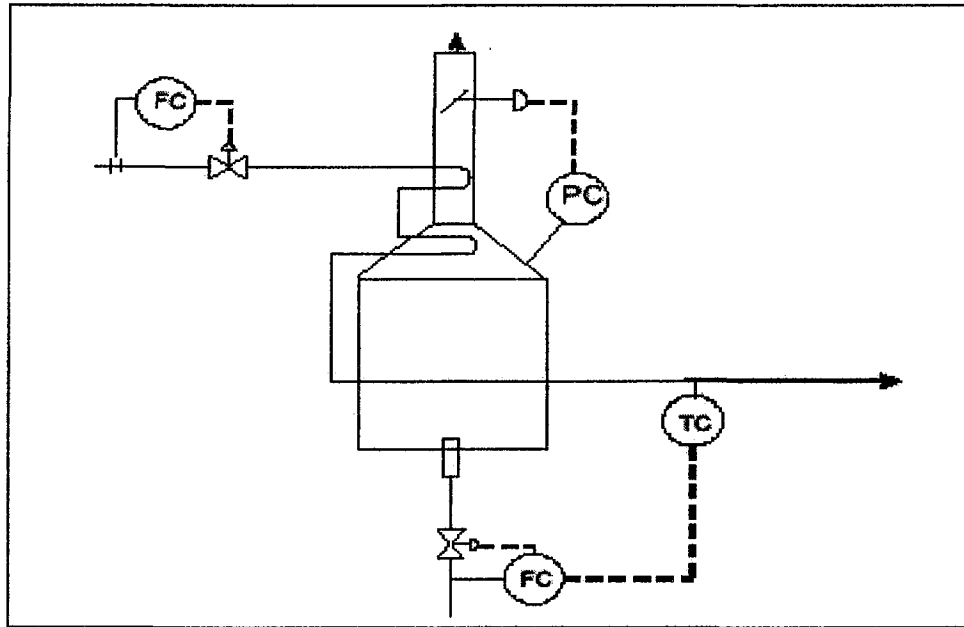
[b] Gambarajah S.5 [b] menunjukkan kawalan suhu keluar gegelung bagi satu relau.

[i] Tentukan samada kawalan lata yang direkabentuk itu dibolehkan? Jika tidak, lakukan perubahan yang sepatutnya untuk mencapai kawalan lata. Jelaskan jawapan anda berdasarkan ciri-ciri rekabentuk lata.

[ii] Bagi setiap gangguan berikut, tentukan samaada rekabentuk lata selepas perubahan di dalam bahagian [i] (jika perlu), akan mempunyai prestasi lebih baik, sama atau merosot daripada gelung suap-balik tunggal (TC → injap). Nyatakan sebab-sebab bagi keputusan yang diambil.

| Gangguan | Lata lebih baik | Gelung tunggal lebih baik | Prestasi sama |
|-------------------------------------|-----------------|---------------------------|---------------|
| 1) tekanan bahan api dibekalkan | | | |
| 2) ketumpatan bahan api (komposisi) | | | |
| 3) injap kawalan bahan api melekat | | | |
| 4) suhu suapan | | | |

...6/-

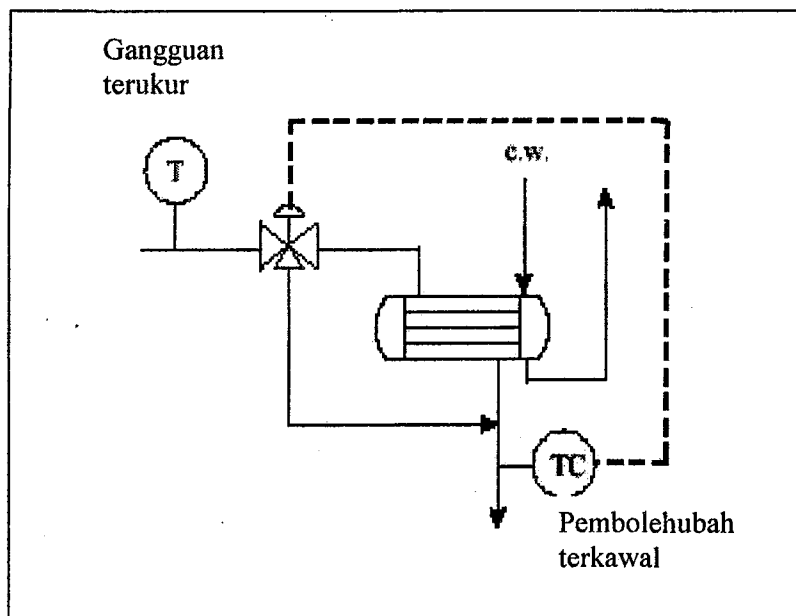


Gambarajah S.5 [b]: Proses pemanas tertembak api dengan kawalan dipermudah

[13 markah]

- [c] Gambarajah S.5[c] menunjukkan satu penukar haba dengan aliran pirau. Tentukan samada kawalan suap depan dibolehkan (berdasarkan ciri-ciri rekabentuk suap depan), samada ia akan meningkatkan prestasi dinamik, dan jika ya pada kedua-duanya, lakarkan kawalan suap depan pada gambarajah tersebut.

Dalam sistem ini, pembolehubah terkawal ialah suhu dan pembolehubah olahan ialah proses aliran terpisah di antara penukar haba dan pirau. Gangguan terukur ialah suhu masukan.



Gambarajah S. 5 [c] : Penukar haba dengan aliran pirau

[7 markah]

...7/-

5. [a] What are adaptive and selective controls? Give examples where they can be implemented in chemical processes.

[5 marks]

[b] Figure Q.5 [b] shows a furnace coil outlet temperature control.

[i] Determine whether the cascade control is possible as designed. If not, make appropriate changes to achieve cascade control. Justify your answer based on the cascade design criteria.

[ii] For each of the following disturbances, determine whether the cascade design, after modifications in part [i] (if needed), will perform better, the same, or worse than single loop feedback (TC → valve). Provide reasons for the decision made.

| Disturbance | Cascade better | Single loop better | Performance the same |
|--------------------------------|----------------|--------------------|----------------------|
| 1) fuel supply pressure | | | |
| 2) fuel density (composition) | | | |
| 3) fuel control valve sticking | | | |
| 4) feed temperature | | | |

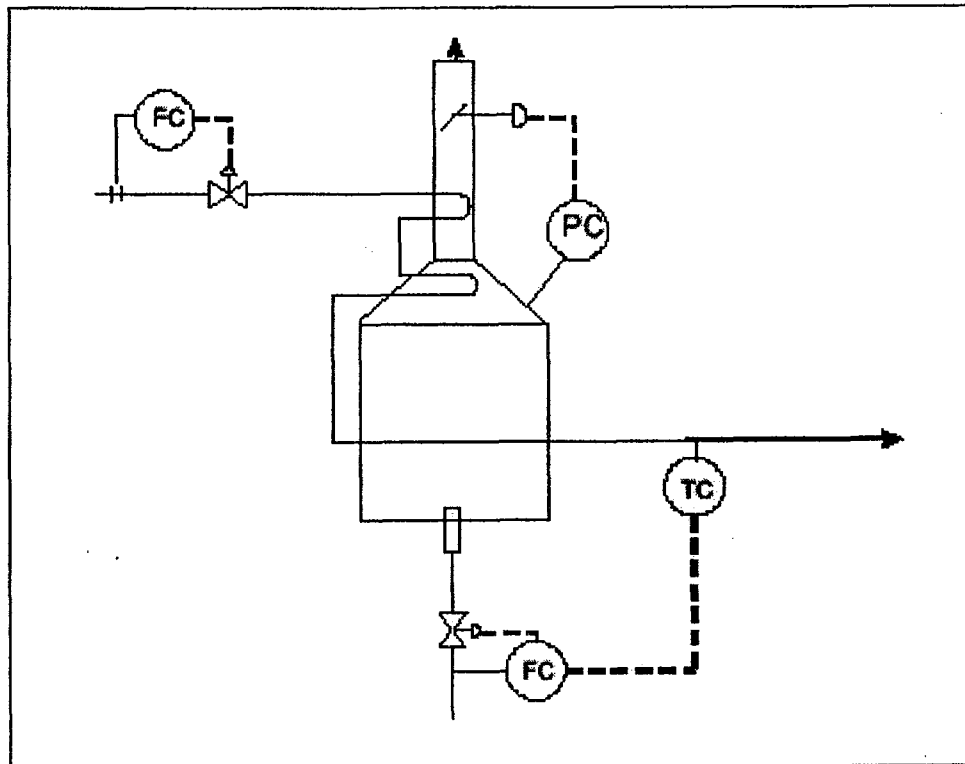


Figure Q.5 [b]: Fired heater process with simplified control

[13 marks]

...8/-

[c] Figure Q. 5 [c] shows the heat exchanger with by-pass flow. Determine whether feedforward control is possible (based on feedforward design criteria), whether it will improve dynamic performance, and if yes to both, sketch the feedforward control on the figure.

In this system, the controlled variable is the temperature and the manipulated variable is the split of the process flow between the exchanger and the by-pass. The measured disturbance is the inlet temperature.

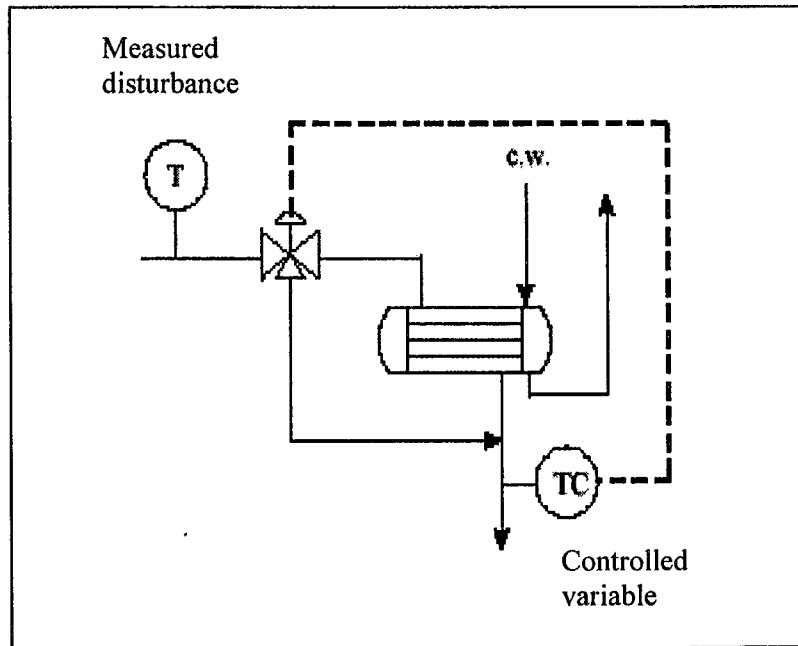


Figure Q. 5 [c] : Heat Exchanger with by-pass flow

[7 marks]