

---

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Peperiksaan Semester Kedua  
Sidang Akademik 2002/2003

Februari / Mac 2003

**EMM 302/3 – Kawalan Automatik**

Masa : 3 jam

---

**ARAHAN KEPADA CALON :**

Sila pastikan bahawa kertas soalan ini mengandungi **LAPAN (8)** mukasurat dan **TUJUH (7)** soalan yang bercetak serta **TIGA (3)** halaman lampiran sebelum anda memulakan peperiksaan.

Sila jawab **LIMA (5)** soalan sahaja.

Calon boleh menjawab **SEMUA** soalan dalam Bahasa Malaysia. Jika calon ingin menjawab dalam Bahasa Inggeris sekurang-kurangnya **SATU (1)** soalan perlu dijawab dalam Bahasa Malaysia.

Setiap soalan mestilah dimulakan pada mukasurat yang baru.

**Lampiran :**

- |    |                               |               |
|----|-------------------------------|---------------|
| 1. | Jadual Penjelmaan Laplace     | [2 mukasurat] |
| 2. | Block Diagram Transformations | [1 mukasurat] |

...2/-

- S1. [a] Pencetak laser jet menggunakan alur laser bagi mencetak salinan dengan cepat untuk komputer. Laser ini ditetapkan kedudukannya oleh masukan kawalan  $r(t)$  jadi

*A laser jet printer uses a laser beam to print a copy rapidly for a computer. The laser is positioned by a control input,  $r(t)$  so that*

$$Y(s) = \frac{2(s+15)}{s^2 + 15s + 50} R(s)$$

Input  $r(t)$  ini menggambarkan kedudukan alur laser yang di inginkan.

*The input  $r(t)$  represents the desired position of a laser beam.*

- (i) Jika  $r(t)$  adalah satu masukan pelangkah seunit, cari keluaran  $y(t)$

*If  $r(t)$  is a unit step input, find the output  $y(t)$ .*

(35 markah)

- (ii) Apakah nilai akhir  $y(t)$

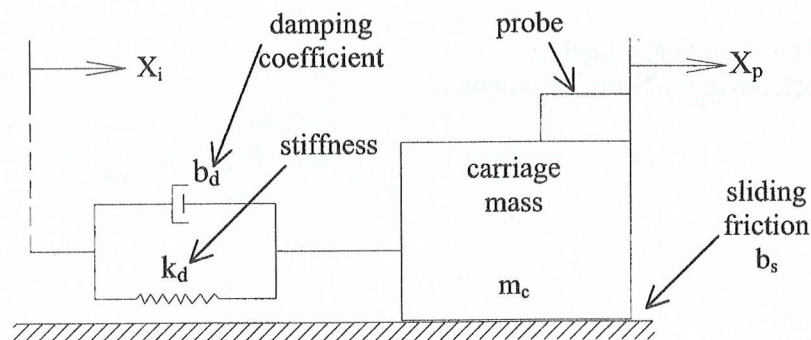
*What is the final value of  $y(t)$ .*

(15 markah)

- [b] Sebuah penggelongsor kedudukan berkejituan tinggi ditunjukkan dalam Rajah S1 [b]. Tentukan rangkap pindahannya.

*A high precision positioning slide is shown in Figure Q1 [b]. Determine its transfer function.*

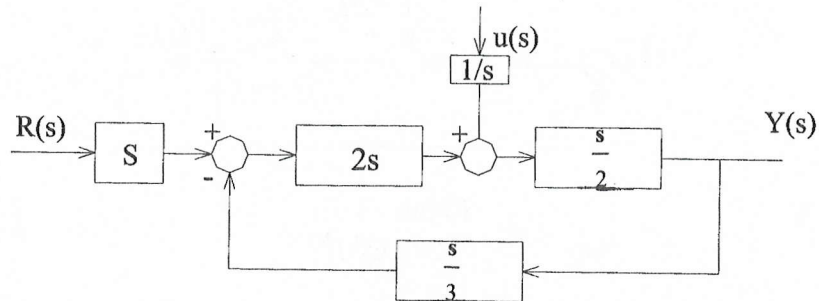
(50 markah)



Rajah S1 [b]  
Figure Q1 [b]

- S2. [a] Ringkaskan gambarajah blok sistem kawalan yang ditunjukkan dalam Rajah S2 [a].

*Reduce the block diagram of a control system shown in Figure Q2 [a].*



Rajah S2 [a]  
Figure Q2 [a]

(70 markah)

- [b] Apakah rangkap pindah jika isyarat gangguan  $u(s)$  adalah sifar.

*What is the transfer function if the disturbing signal  $u(s)$  is zero.*

(30 markah)

- S3. [a] Sistem kawalan gelung tertutup kenderaan terpandu automatik mempunyai rangkap pindah seperti berikut. Kira kepekaan sistem  $S_p^T$  disebabkan oleh perubahan parameter  $p$  bila  $s = -3$  dan  $p = 2$ . Bandingkan kepekaan yang telah didapati dengan kepekaan sistem kawalan gelung terbuka.

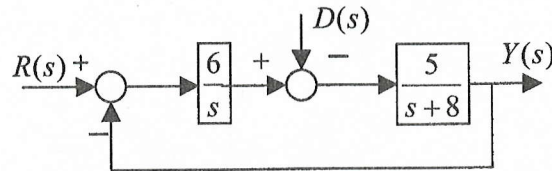
*An automated guided vehicle closed loop control system has the following transfer function. Calculate the sensitivity  $S_p^T$  of the system due to the variation in parameter  $p$  when  $s = -3$  and  $p = 2$ . Compare the sensitivity thus obtained with the sensitivity of open loop system.*

$$T(s) = \frac{100p}{s(s+2)(s+4) + 5p}$$

(30 markah)

- [b] Rajah blok bagi satu sistem kawalan pekakas mesin ditunjukkan dalam Rajah S3 [b]. Dapatkan sambutan keadaan mantap  $y_{ss}$  apabila masukan  $R(s) = 0$  dan gangguan  $D(s) = 1/s$ . Komen sambutan keadaan mantap  $y_{ss}$  diperolehi.

The block diagram of a machine tool control system is shown in Figure Q3 [b]. Find the steady state response  $y_{ss}$  when the input  $R(s) = 0$  and the disturbance  $D(s) = 1/s$ . Comment the steady state response  $y_{ss}$  obtained.



Rajah S3 [b]  
Figure Q3 [b]

(40 markah)

- [c] Satu pemacu cakera magnet memerlukan sebuah motor bagi mengubah kedudukan kepala baca/tulis pada alur data di atas cakera yang berputar. Rangkaian pindah yang diberi di bawah mewakili sistem kawalan gelong tertutup pemacu cakera. Kira nilai  $K$  diperlukan supaya menghasilkan ralat keadaan mantap bersamaan 0.1 mm bagi satu masukan pelangkah seunit.

A magnetic disk drive requires a motor to position a read/write head over tracks of data on a spinning disk. The transfer function given below represents the disk drive closed loop control system. Calculate the required value of  $K$  in order to yield a steady state error equal to 0.1 mm for a unit step input.

$$T(s) = \frac{10000}{s^2 + 1000s + 10000K}$$

(30 markah)

- S4. [a] Rangkaian pindah di bawah mewakili satu sistem kawalan bagi sebuah enjin kereta. Dapatkan masa memuncak  $T_p$  dan masa meningkat dari 10% hingga 90% nilai akhir  $T_{r,1}$  akibat satu masukan langkah unit  $R(s) = 1/s$ .

The transfer function below represent a control sistem of a car engine. Find the peak time  $T_p$  and rise time from 10% to 90% of final value  $T_{r,1}$  due to a unit step input  $R(s) = 1/s$ .

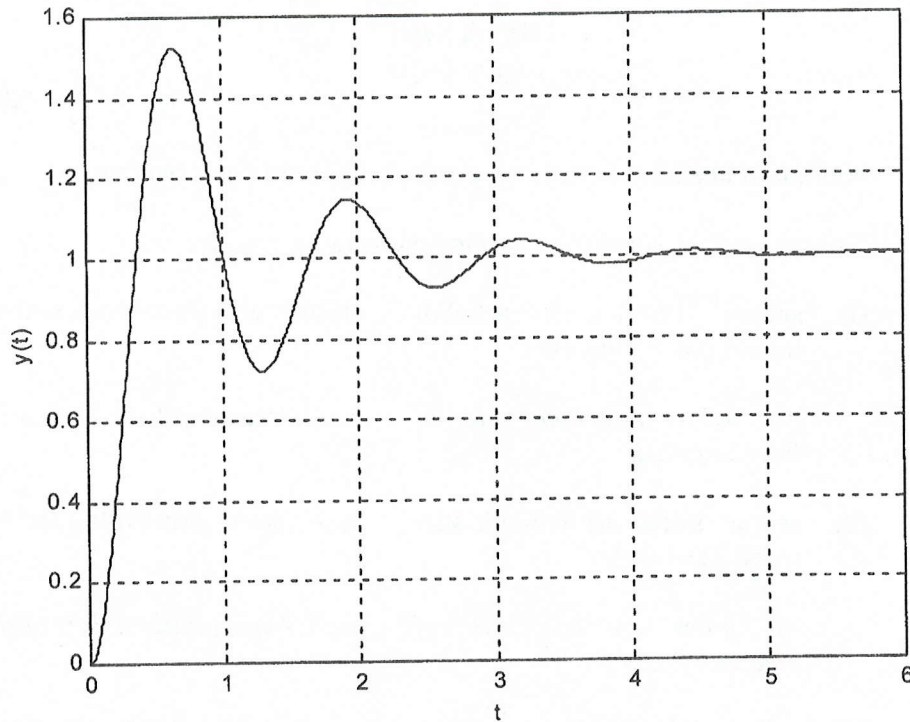
$$T(s) = \frac{25}{s^2 + 7s + 25}$$

(40 markah)



- [b] Sambutan yang dihasilkan oleh sistem kawalan bagi sebuah kipas angin ditunjukkan dalam Rajah S4 [b]. Berdasarkan graf tersebut anggarkan nilai peratusan lajukan dan masa enapan bagi sistem tersebut.

*The response produced by a control system of a fan is shown in Figure Q4 [b]. Based on the graph estimate the value of percentage overshoot and settling time for the system.*

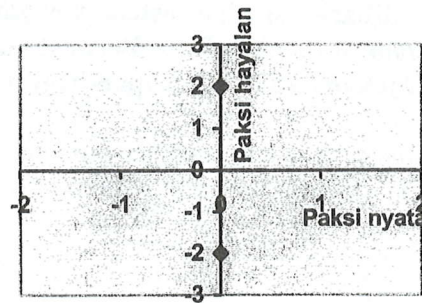


Rajah S4[b]  
Figure Q4[b]

(30 markah)

- [c] Sistem kawalan bagi sebuah silinder hidraulik mempunyai kedudukan punca-puncanya dalam satah-s seperti ditunjukkan dalam Rajah S4 [c]. Lakarkan dan terangkan bentuk sambutan yang dihasilkan oleh sistem tersebut apabila dikenakan masukan dedenyut.

*A control system of a hydraulic cylinder has location of its roots in s-plane as shown in Figure Q4 [c]. Sketch and explain the shape of the response produced by the system when an impulse input is applied.*



Rajah S4[c]  
Figure Q4[c]

(30 markah)

S5. [a] Nyatakan keadaan kestabilan untuk kenyataan yang berikut:

*State the stability condition for the following statements:*

- |   |                                  |
|---|----------------------------------|
| (i) semua kutub di sebelah kanan paksi khayalan   | stabil/stabil jidar/tidak stabil |
| <i>All poles on right side of imaginary axis</i>  |                                  |
| (ii) semua kutub di sebelah kiri paksi khayalan   | stabil/stabil jidar/tidak stabil |
| <i>All poles on left side of imaginary axis</i>   |                                  |
| (iii) satu kutub di sebelah kanan paksi khayalan dan kutub yang lain di sebelah kiri paksi khayalan | stabil/stabil jidar/tidak stabil |
| <i>One pole on right side of imaginary axis and the other pole on left side of imaginary axis</i>   |                                  |
| (iv) Kutub-kutub di atas paksi khayalan   | stabil/stabil jidar/tidak stabil |
| <i>Poles on imaginary axis</i>  |                                  |
| (v) Kutub-kutub berulang di atas paksi khayalan   | stabil/stabil jidar/tidak stabil |
| <i>Repeated poles on imaginary axis</i>   |                                  |

(25 markah)

...7/-

[b] Sistem kawalan suap balik mempunyai persamaan ciri

*A feed back control system has a characteristic equation*

$$s^3 + (1 + K)s^2 + 10s + (5 + 15K) = 0$$

parameter K mestilah positif

*The parameter K must be positive.*

(i) Apakah nilai maksimum K bagi sistem yang stabil.

*What is the maximum value of K for stable system?*

(40 markah)

(ii) Apabila K sama dengan nilai maksimum, sistem akan berayun. Tentukan frekuensi ayunan.

*When K is equal to the maximum value, the system oscillates. Determine the frequency of oscillation.*

(35 markah)

S6. Sistem suap balik unit mempunyai rangkap pindah yang diberi oleh

*A unity feedback system has a transfer function given by*

$$G(s) = \frac{K}{s(s+2)(s+5)}$$

Cari:

Find:

(i) Titik lolos pada paksi sebenar dan gandaan untuk titik ini.

*The breakaway point on the real axis and gain for this point.*

(30 markah)

(ii) Gandaan dan punca-punca apabila dua punca terletak pada paksi hayalan.

*The gain and the roots when the two roots lie on the imaginary axis.*

(30 markah)

(i) Lakarkan londar punca

*Sketch the root locus*

(40 markah)

S7. [a] Dalam sistem kawalan suapbalik mengapakah pampasan di perlukan?

*In a feedback control system why compensation is required?*

(15 markah)

[b] Apakah kepelbagaian skema pampasan ?

*What are the various compensation schemes?*

(15 markah)

[c] Pertimbangkan sistem kawalan suap balik gelung tunggal seperti di tunjukkan dalam Rajah S7[c]. Rangkap pindah proses  $G(s)$  sama dengan  $\frac{K}{s^2}$  dan isyarat suap balik  $H(s)$  adalah unit. Sambutan bagi sistem tak terpampas adalah ayunan tak teredam. Rekabentuk sebuah pemampas  $G_c(s)$  berdasarkan keadaan berikut:

Masa penetapan  $T_s \leq$  saat.

Peratus terlajak untuk masukkan pelangkah seunit  $\leq 35\%$

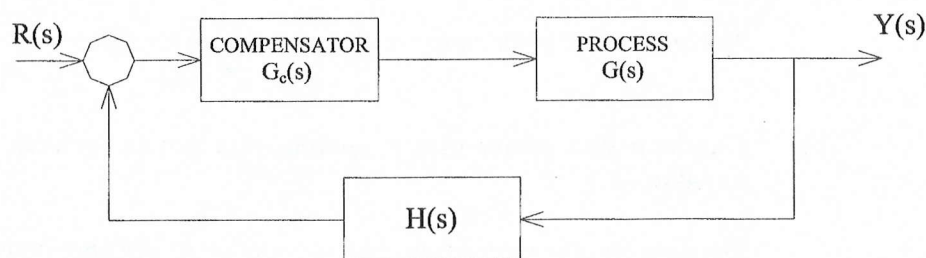
*Consider a single loop feedback control system shown in Figure Q7 [c]. The process transfer function  $G(s)$  is equal to  $\frac{K}{s^2}$  and feed back signal  $H(s)$  is unity.*

*The response of the uncompensated system is undamped oscillations. Design a compensator  $G_c(s)$  for the following conditions:*

*Settling time  $T_s \leq$  seconds*

*Percent overshoot for a unit step input  $\leq 35\%$*

(70 markah)



Rajah S7 [c]  
Figure Q7 [c]

-ooOOOoo-



Jadual Penjelmaan Laplace

Item	$f(t), t \geq 0$	$F(s)$
1	$\delta(t)$	1
2	$u(t)$	$\frac{1}{s}$
3	$t^n$	$\frac{n!}{s^{n+1}}$
4	$e^{-at}$	$\frac{1}{s+a}$
5	$e^{-at} f(t)$	$F(s+a)$
6	$f^k(t) = \frac{d^k f(t)}{dt^k}$	$s^k F(s) - s^{k-1} f(0^-) - s^{k-2} f'(0^-) - \dots - f^{k-1}(0^-)$
7	$\int_{-\infty}^{\infty} f(t) dt$	$\frac{F(s)}{s} + \frac{1}{s} \int_{-\infty}^0 f(t) dt$
8	$\frac{1}{(n-1)!} t^{n-1} e^{-at}$	$\frac{1}{(s+a)^n}$
9	$1 - e^{-at}$	$\frac{a}{s(s+a)}$
10	$\frac{1}{(b-a)} (e^{-at} - e^{-bt})$	$\frac{1}{(s+a)(s+b)}$
11	$\frac{1}{(b-a)} [(\alpha-a)e^{-at} - (\alpha-b)e^{-bt}]$	$\frac{s+\alpha}{(s+a)(s+b)}$
12	$1 - \frac{b}{(b-a)} e^{-at} + \frac{a}{(b-a)} e^{-bt}$	$\frac{ab}{s(s+a)(s+b)}$
13	$\frac{e^{-at}}{(b-a)(c-a)} + \frac{e^{-bt}}{(c-b)(a-b)} + \frac{e^{-ct}}{(a-c)(b-c)}$	$\frac{1}{(s+a)(s+b)(s+c)}$
14	$\frac{(\alpha-a)e^{-at}}{(b-a)(c-a)} + \frac{(\alpha-b)e^{-bt}}{(c-b)(a-b)} + \frac{(\alpha-c)e^{-ct}}{(a-c)(b-c)}$	$\frac{s+\alpha}{(s+a)(s+b)(s+c)}$
15	$\alpha - \frac{b(\alpha-a)}{(b-a)} e^{-at} + \frac{a(\alpha-b)}{(b-a)} e^{-bt}$	$\frac{ab(s+\alpha)}{s(s+a)(s+b)}$
16	$\sin \omega t$	$\frac{\omega}{s^2 + \omega^2}$
17	$\cos \omega t$	$\frac{s}{s^2 + \omega^2}$

## LAMPIRAN

18	$\frac{\sqrt{\alpha^2 + \omega^2}}{\omega} \sin(\omega t + \phi), \phi = \tan^{-1}\left(\frac{\omega}{\alpha}\right)$	$\frac{s + \alpha}{s^2 + \omega^2}$
19	$e^{-at} \sin \omega t$	$\frac{\omega}{(s + a)^2 + \omega^2}$
20	$e^{-at} \cos \omega t$	$\frac{(s + a)}{(s + a)^2 + \omega^2}$
21	$\frac{1}{\omega} \sqrt{(\alpha - a)^2 + \omega^2} e^{-at} \sin(\omega t + \phi), \phi = \tan^{-1}\left(\frac{\omega}{\alpha - a}\right)$	$\frac{(s + \alpha)}{(s + a)^2 + \omega^2}$
22	$\frac{\omega_n}{\sqrt{1 - \zeta^2}} e^{-\zeta \omega_n t} \sin \omega_n \sqrt{1 - \zeta^2} t, \zeta > 1$	$\frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta \omega_n s + \omega_n^2}$
23	$\frac{1}{a^2 + \omega^2} + \frac{1}{\omega \sqrt{a^2 + \omega^2}} e^{-at} \sin(\omega t - \phi), \phi = \tan^{-1}\left(\frac{\omega}{-a}\right)$	$\frac{1}{s[(s + a)^2 + \omega^2]}$
24	$1 - \frac{1}{\sqrt{1 - \zeta^2}} e^{-\zeta \omega_n t} \sin \omega_n \sqrt{1 - \zeta^2} t + \phi, \phi = \cos^{-1} \zeta, \zeta > 1$	$\frac{\omega_n^2}{s(s^2 + 2\zeta \omega_n s + \omega_n^2)}$
24	$\frac{\alpha}{a^2 + \omega^2} + \frac{1}{\omega} \sqrt{\frac{(\alpha - a)^2 + \omega^2}{a^2 + \omega^2}} e^{-at} \sin(\omega t + \phi),$ $\phi = \tan^{-1}\left(\frac{\omega}{\alpha - a}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{\omega}{-a}\right)$	$\frac{(s + \alpha)}{s[(s + a)^2 + \omega^2]}$
26	$\frac{e^{-ct}}{(c - a)^2 + \omega^2} + \frac{e^{-at} \sin(\omega t + \phi)}{\omega \sqrt{(c - a)^2 + \omega^2}}, \phi = \tan^{-1}\left(\frac{\omega}{c - a}\right)$	$\frac{1}{(s + c)[(s + a)^2 + \omega^2]}$

## Block Diagram Transformations

Transformation	Original Diagram	Equivalent Diagram
1. Combining blocks in cascade		<p style="text-align: center;">or</p>
2. Moving a summing point behind a block		
3. Moving a pickoff point ahead of a block		
4. Moving a pickoff point behind a block		
5. Moving a summing point ahead of a block		
6. Eliminating a feedback loop		