

---

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Peperiksaan Semester Kedua  
Sidang Akademik 2005/2006

April/Mei 2006

**EMM 302/3 – Kawalan Automatik**

Masa : 3 jam

---

**ARAHAN KEPADA CALON :**

Sila pastikan bahawa kertas soalan ini mengandungi **SEPULUH (10)** mukasurat bercetak, **2 (DUA)** mukasurat lampiran dan **TUJUH (7)** soalan sebelum anda memulakan peperiksaan.

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

Calon boleh menjawab dalam **Bahasa Malaysia** ATAU **Bahasa Inggeris** ATAU kombinasi kedua-duanya.

Setiap soalan mestilah dimulakan pada mukasurat yang baru.

**Lampiran**

1. Important Laplace Transform Pairs [1 mukasurat]
2. Selected Formulas for Design [1 mukasurat]

- S1. [a] Suatu sistem kedudukan bagi pencetak boleh dimodelkan sebagai  $Y(s) = \frac{5(s+100)}{s^2 + 60s + 500} R(s)$  di mana masukan  $R(s)$  mewakili kedudukan yang dikehendaki dan  $Y(s)$  pula adalah keluaran kedudukan yang diperolehi. Jika masukan adalah suatu unit masukan langkah

*The positioning system of a printer can be modeled as  $Y(s) = \frac{5(s+100)}{s^2 + 60s + 500} R(s)$  where the input  $R(s)$  represents the desired position and  $Y(s)$  is the output position. If the input is a unit step input*

- (i) Dapatkan keluaran  $y(t)$

*Find output  $y(t)$*

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

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

(35 markah)

- [b] Suatu sistem dengan rangkap pindah gelung tertutup  $\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{10(s+2)}{s^2 + 8s + 15}$  mempunyai masukan  $R(s)$  dan keluaran  $Y(s)$ . Tentukan  $y(t)$ , apabila  $r(t)$  adalah suatu unit masukan langkah.

*A system with the closed loops transfer function  $\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{10(s+2)}{s^2 + 8s + 15}$  with input  $R(s)$  and output  $Y(s)$ . Determine  $y(t)$ , when  $r(t)$  is a unit step input.*

(30 markah)

- [c] Keluaran  $y$ , dan masukan  $x$ , bagi sesebuah peranti dihubungkan dengan  $y = x + 0.79x^3$

*The output  $y$  and input  $x$ , of a device are related by  $y = x + 0.79x^3$*

- (i) Dapatkan nilai keluaran bagi operasi keadaan mantap pada dua titik operasi,  $x_o = 1$ ,  $x_o = 2$

*Find the values of output for steady state operation at the operating points,  $x_o = 1$ ,  $x_o = 2$*

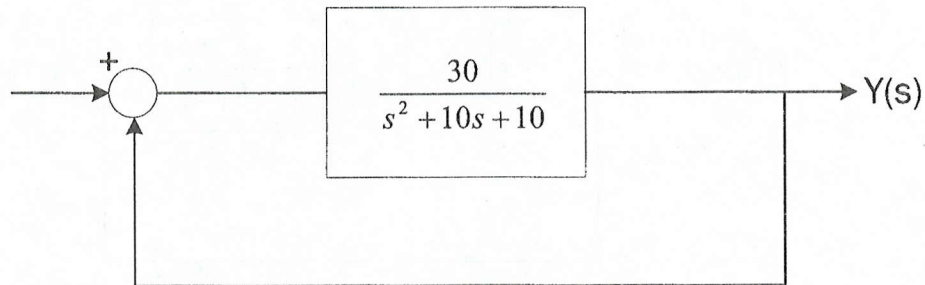
- (ii) Dapatkan suatu model linear bagi kedua-dua titik operasi dan bandingkan kedua-duanya.

*Obtain a linearized model for both operating points and compare them.*

(35 markah)

- S2. [a] Rujuk gambarajah blok dalam Rajah S2[a]

*Refer the block diagram in Figure Q2[a]*



Rajah S2[a]  
Figure Q2[a]

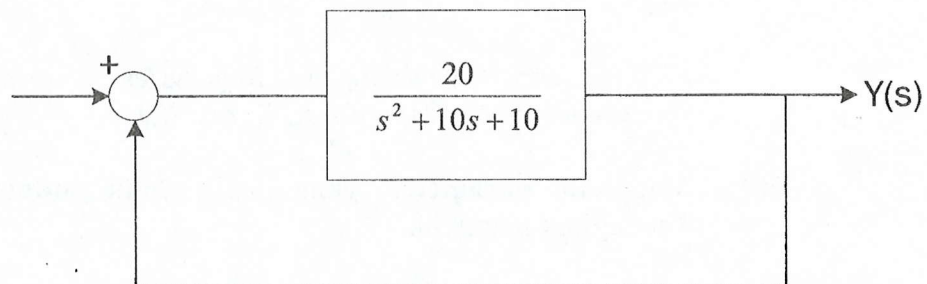
Dapatkan fungsi pindah gelung tertutup :  $T(s) = Y(s)/R(s)$

*Find the close loop transfer function:  $T(s) = Y(s)/R(s)$*

(35 markah)

- [b] Rujuk gambarajah blok dalam Rajah S2[b]

*Refer the block diagram in Figure Q2[b]*



Rajah S2[b]  
Figure Q2[b]

Dapatkan sambutan seunit langkah gelung tertutup tersebut.

*Find the closed loop unit step response.*

(35 markah)

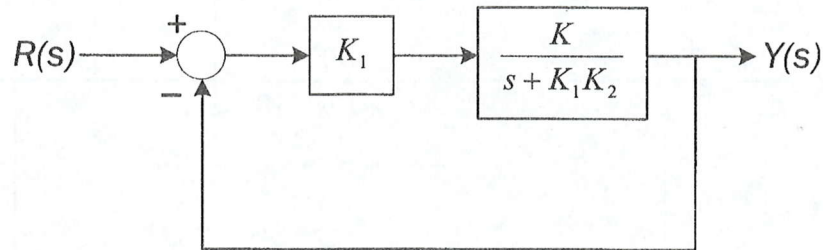
- [c] Berdasarkan gambarajah dalam Rajah S2[b] di atas, dapatkan nilai akhir  $y(t)$ .

*For the above diagram in Figure Q2[b], find the final value of  $y(t)$ .*

(30 markah)

- S3. [a] Berdasarkan gambarajah blok bagi sebuah kapal selam yang ditunjukkan dalam Rajah S3[a].

*Consider the block diagram of a submarine shown in Figure Q3[a].*



Rajah S3[a]  
Figure Q3[a]

- [i] Dapatkan kepekaan sistem gelung tertutup tersebut terhadap perubahan dalam  $K_1$ . (Biar jawapan dalam bentuk  $s$ ,  $K$ ,  $K_1$  dan  $K_2$ ).

*Find the sensitivity of the closed loop system to variation in  $K_1$ . (Leave your answer in the form of  $s$ ,  $K$ ,  $K_1$  and  $K_2$ ).*

- [ii] Dapatkan kepekaan sistem gelung tertutup tersebut terhadap perubahan dalam  $K$ . (Biar jawapan dalam bentuk  $s$ ,  $K$ ,  $K_1$  dan  $K_2$ ).

*Find the sensitivity of the closed loop system to variation in  $K$ . (Leave your answer in the form of  $s$ ,  $K$ ,  $K_1$  and  $K_2$ ).*

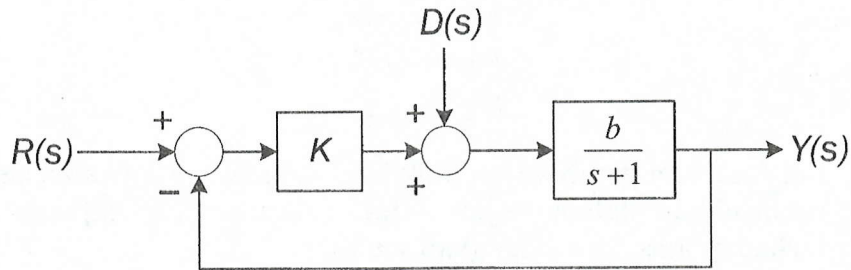
- [iii] Manakah parameter yang lebih baik antara  $K_1$  dan  $K$ ? Terangkan mengapa.

*Which parameter is better between  $K_1$  and  $K$ ? Explain why.*

(40 markah)

- [b] Berdasarkan gambarajah blok bagi sebuah sistem kawalan perkakas mesin yang ditunjukkan dalam Rajah S3[b]. Kira nilai minima  $K$  supaya ralat keadaan mantap akibat gangguan pelangkah seunit adalah kurang dari 10%. (Biar jawapan dalam bentuk  $b$ ).

Consider the block diagram of a machine tool control system shown in Figure Q3[b]. Calculate the minimal value of  $K$  so that the steady-state error due to unit step disturbance is less than 10%. (Leave your answer in the form of  $b$ ).



Rajah S3[b]  
Figure Q3[b]

(30 markah)

- [c] Suatu proses kimia direkabentuk untuk mengikuti satu laluan diingini yang diungkap oleh

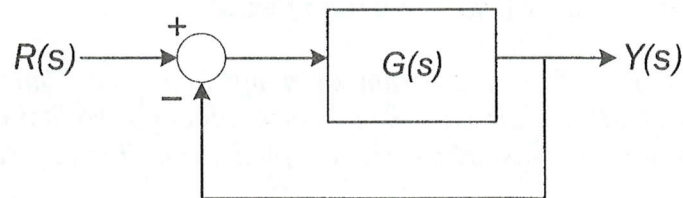
A chemical process is designed to follow a desired path described by

$$r(t) = (5 - t + 0.5t^2)u(t)$$

di mana  $r(t)$  adalah sambutan diingini dan  $u(t)$  adalah satu rangkap pelangkah seunit. Lihat gambarajah blok bagi sebuah sistem suap balik seunit yang ditunjukkan dalam Rajah S3[c]. Kira ralat keadaan mantap sistem bila rangkap pindah gelung terbuka adalah

Where  $r(t)$  is the desired response and  $u(t)$  is a unit step function. Consider the block diagram of a unity feedback system shown in Figure Q3[c]. Calculate the system steady-state error when the open loop transfer function is

$$G(s) = \frac{10(s+1)}{s^2(s+5)}$$

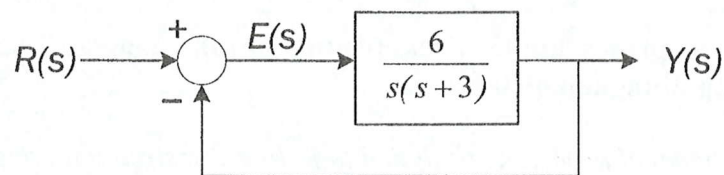


Rajah S3[b]  
Figure Q3[b]

(30 markah)

- S4. [a] Berdasarkan gambarajah blok bagi satu sistem kawalan suap balik yang ditunjukkan dalam Rajah S4[a]. Kira peratus lajakan sambutannya terhadap masukan pelangkah seunit.

Consider the block diagram of a feedback control system shown in Figure Q4[a]. Calculate the percentage overshoot of the response to a unit step input.



Rajah S4[a]  
Figure Q4[a]

(20 markah)

- [b] Suatu sistem mempunyai rangkap pindah gelung tertutup  $T(s)$  diberi oleh

A system has the closed loop transfer function  $T(s)$  given by

$$T(s) = \frac{2500}{(s+20)(s^2+10s+125)}$$

Menggunakan kutub-kutub yang dominan, anggarkan peratusan lajakan yang dijangka.

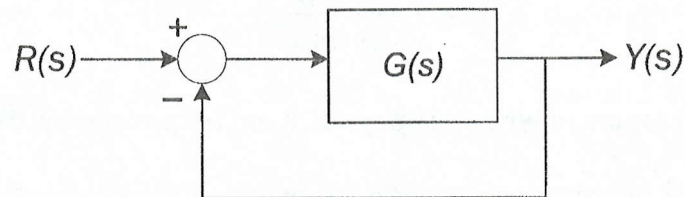
Using the dominant poles, estimate the expected percent overshoot.

(30 markah)

- [c] Berdasarkan gambarajah blok bagi satu sistem kawalan suap balik seunit yang ditunjukkan dalam Rajah S4[c] di mana

Consider the block diagram of a unity feedback control system shown in Figure Q4[c] where

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



Rajah S4[c]  
Figure Q4[c]

Spesifikasi rekabentuknya adalah masa memuncak  $T_p \leq 1.0$  dan peratusan lajukan  $PO \leq 10\%$ . Kira julat parameter K yang boleh memenuhi spesifikasi tersebut.

The design specifications are peak time  $T_p \leq 1.0$  and percent overshoot  $PO \leq 10\%$ . Calculate the range of parameter K that can satisfy the specifications.

(50 markah)

- S5. [a] Satu sistem mempunyai persamaan ciri  $s^3 + 9s^2 + 26s + 24 = 0$ . Dengan menggunakan kriteria Routh-Hurwitz, tunjukkan bahawa sistem adalah stabil.

A system has a characteristic equation  $s^3 + 9s^2 + 26s + 24 = 0$ . Using the Routh-Hurwitz criterion, show that the system is stable.

(30 markah)

- [b] Satu sistem mempunyai persamaan ciri  $s^3 + 3ks^2 + (2+k)s + 5 = 0$ . Tentukan julat K bagi sistem yang stabil.

A system has a characteristics equation  $s^3 + 3ks^2 + (2+k)s + 5 = 0$ . Determine the range of K for a stable system.

(30 markah)

- [c] Huraikan kriteria Routh-Hurwitz bagi kestabilan sistem linear.

Describe the Routh-Hurwitz criterion for stability of linear system.

(40 markah)

- S6. Sebuah satelit yang mengorbit perlu memastikan haluannya benar-benar mengarah ke matahari dan bumi bagi menghasilkan kuasa dan komunikasi. Pengawal haluannya mungkin diwakili oleh satu sistem suap balik seunit dengan satu penggerak dan pengawal diberi sebagai

*An orbiting satellite needs to keep its orientation properly toward the sun and the earth for generating power and communications. The orientation controller may be represented by a unity feedback system with an actuator and controller given as*

$$G(s) = \frac{25K}{s(s^2 + 24s + 100)}$$

- [a] Tulis persamaan cirinya supaya K menjadi parameter diingini.

*Write the characteristic equation so that K is the parameter of interest.*

(10 markah)

- [b] Tentukan punca-punca dan sifar-sifarnya jika ada. Kemudian tunjukkan kedudukannya pada satah-s dan kira bilangan lokus yang berasingan.

*Determine the poles and zeros if any. Then locate them on the s-plane and calculate the number of separate loci.*

(15 markah)

- [c] Tunjukkan kedudukan segmen paksi nyata yang menjadi lokus punca.

*Locate the segments of the real axis that are root loci.*

(10 markah)

- [d] Tentukan pusat asimptot dan sudut-sudut asimptot.

*Determine the asymptote center and asymptote angles.*

(10 markah)

- [e] Dapatkan julat K supaya sistem stabil.

*Find the range of K so that the system is stable.*

(10 markah)

- [f] Tentukan titik lolos pada paksi nyatanya.

*Determine the breakaway point on the real axis.*

(10 markah)

- [g] Lakarkan lokus punca pada sekeping kertas graf yang dibekalkan.

*Sketch the root locus on a graph paper provided.*

(15 markah)

- [h] Dapatkan nilai  $K$  supaya punca dominan mempunyai satu nisbah peredam 0.5.

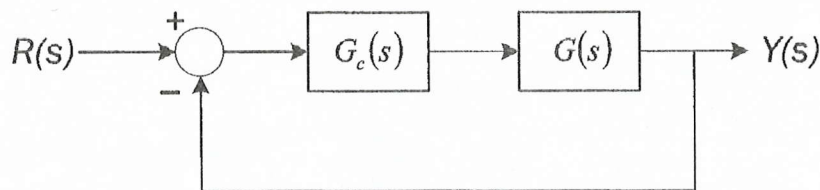
*Find the value of  $K$  such that the dominant roots have a damping ratio 0.5.*

(20 markah)

- S7. Dalam mengautomatiskan proses melilit rotor, operasi insani perlu diganti dengan sebuah mesin bagi melilit wayar tembaga pada rotor bagi motor kecil. Setiap motor mempunyai tiga lilitan berasingan dengan ratusan pusingan wayar. Perkara yang penting adalah lilitan hendaklah konsisten dan keluaran proses perlu tinggi. Pengendali hanya memasukkan sebuah rotor tidak berlilit, menekan butang mula, dan kemudian mengalihkan rotor yang siap berlilit. Motor arus terus diguna bagi mencapai lilitan jitu dan pantas. Gambarajah blok sistem kawalan tersebut ditunjukkan dalam Rajah S7 dengan rangkap pindah  $G(s)$  diberi sebagai

*In automating rotor winding process, the manual operation need to be replaced by a machine to wind copper wire onto the rotors of small motors. Each motor has three separate windings of several hundred turns of wire. It is important that the windings be consistent and that the output of the process be high. The operator simply inserts an unwound rotor, pushes a start button, and then removes the completely wound rotor. Direct current motor is used to achieve accurate, rapid windings. The block diagram of the control system is shown in Figure Q7 with the transfer function  $G(s)$  given as*

$$G(s) = \frac{1}{s(s+5)(s+10)}$$



Rajah S7  
Figure Q7

- [a] Rekabentuk satu sistem kawalan pampasan duluan fasa menggunakan kaedah londar punca dan tentukan peratusan lajakan, masa penetapan, ralat keadaan mantap bagi masukan pelangkah dan ralat keadaan mantap bagi masukan tanjakan.

*Design a phase lead compensation control system using root locus method and determine the percentage overshoot, settling time, steady state error for step input and steady state error for ramp input.*

(40 markah)

- [b] **Rekabentuk satu sistem kawalan pampasan ekor fasa menggunakan kaedah londaar punca dan tentukan peratusan lajukan, masa penetapan, ralat keadaan mantap bagi masukan pelangkah dan ralat keadaan mantap bagi masukan tanjakan.**

*Design a phase lag compensation control system using root locus method and determine the percentage overshoot, settling time, steady state error for step input, and steady state error for ramp input.*

**(40 markah)**

- [c] **Bandungkan dan komen peratusan lajukan, masa penetapan, ralat keadaan mantap bagi masukan pelangkah dan ralat keadaan mantap bagi masukan tanjakan yang didapati dalam soalan S7[a] dan S7[b].**

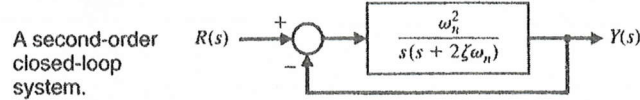
*Compare and comment on the percentage overshoot, settling time, steady state error for step input and steady state error for ramp input obtained in question Q7[a] and Q7[b].*

**(20 markah)**

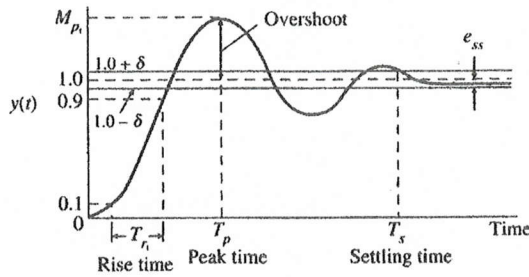
Important Laplace Transform Pairs

$f(t)$	$F(s)$
Step function, $u(t)$	$\frac{1}{s}$
$e^{-at}$	$\frac{1}{s+a}$
$\sin \omega t$	$\frac{\omega}{s^2 + \omega^2}$
$\cos \omega t$	$\frac{s}{s^2 + \omega^2}$
$t^n$	$\frac{n!}{s^{n+1}}$
$f^{(k)}(t) = \frac{d^k f(t)}{dt^k}$	$s^k F(s) - s^{k-1} f(0^-) - s^{k-2} f'(0^-) - \dots - f^{(k-1)}(0^-)$
$\int_{-\infty}^t f(t) dt$	$\frac{F(s)}{s} + \frac{1}{s} \int_{-\infty}^0 f(t) dt$
Impulse function $\delta(t)$	1
$e^{-at} \sin \omega t$	$\frac{\omega}{(s+a)^2 + \omega^2}$
$e^{-at} \cos \omega t$	$\frac{(s+a)}{(s+a)^2 + \omega^2}$
$\frac{1}{\omega} [(\alpha - a)^2 + \omega^2]^{1/2} e^{-at} \sin(\omega t + \phi)$ , $\phi = \tan^{-1} \frac{\omega}{\alpha - a}$	$\frac{s + \alpha}{(s+a)^2 + \omega^2}$
$\frac{\omega_n}{\sqrt{1 - \zeta^2}} e^{-\zeta \omega_n t} \sin \omega_n \sqrt{1 - \zeta^2} t$ , $\zeta < 1$	$\frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta \omega_n s + \omega_n^2}$
$\frac{1}{a^2 + \omega^2} + \frac{1}{\omega \sqrt{a^2 + \omega^2}} e^{-at} \sin(\omega t - \phi)$ , $\phi = \tan^{-1} \frac{\omega}{-a}$	$\frac{1}{s[(s+a)^2 + \omega^2]}$
$1 - \frac{1}{\sqrt{1 - \zeta^2}} e^{-\zeta \omega_n t} \sin(\omega_n \sqrt{1 - \zeta^2} t + \phi)$ , $\phi = \cos^{-1} \zeta$ , $\zeta < 1$	$\frac{\omega_n^2}{s(s^2 + 2\zeta \omega_n s + \omega_n^2)}$
$\frac{\alpha}{a^2 + \omega^2} + \frac{1}{\omega} \left[ \frac{(\alpha - a)^2 + \omega^2}{a^2 + \omega^2} \right]^{1/2} e^{-at} \sin(\omega t + \phi)$ , $\phi = \tan^{-1} \frac{\omega}{\alpha - a} - \tan^{-1} \frac{\omega}{-a}$	$\frac{(s + \alpha)}{s[(s+a)^2 + \omega^2]}$

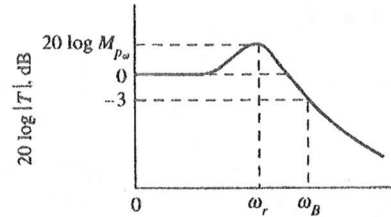
**Selected Formulas for Design**



UNIT STEP RESPONSE



CLOSED-LOOP MAGNITUDE PLOT



- Settling time (to within 2% of the final value)

$$T_s = \frac{4}{\zeta\omega_n}$$

- Maximum magnitude ( $\zeta \leq 0.7$ )

$$M_{p\omega} = \frac{1}{2\zeta\sqrt{1-\zeta^2}}$$

- Percent overshoot

$$M_{p_t} = 1 + e^{-\zeta\pi/\sqrt{1-\zeta^2}}$$

and

$$P.O. = 100e^{-\zeta\pi/\sqrt{1-\zeta^2}}$$

- Time-to-peak

$$T_p = \frac{\pi}{\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}}$$

- Resonant frequency ( $\zeta \leq 0.7$ )

$$\omega_r = \omega_n\sqrt{1-2\zeta^2}$$

- Rise time (time to rise from 10% to 90% of final value)

$$T_{r_1} = \frac{2.16\zeta + 0.60}{\omega_n}$$

( $0.3 \leq \zeta \leq 0.8$ )

- Bandwidth ( $0.3 \leq \zeta \leq 0.8$ )

$$\omega_B = (-1.196\zeta + 1.85)\omega_n$$

PID Controller:

$$G_c(s) = K_p + K_Ds + \frac{K_I}{s} = \frac{(s + z_1)(s + z_2)}{s}$$