
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Peperiksaan Semester Kedua
Sidang Akademik 2004/2005

Mac 2005

EMM 302/3 – KAWALAN AUTOMATIK

Masa : 3 jam

ARAHAN KEPADA CALON :

Sila pastikan bahawa kertas soalan ini mengandungi **SEMBILAN (9)** mukasurat dan **TUJUH (7)** soalan yang bercetak serta **DUA (2)** halaman lampiran sebelum anda memulakan peperiksaan.

Jawab **LIMA** soalan sahaja.

Pelajar dibenarkan menjawab semua soalan dalam **Bahasa Inggeris** ATAU **Bahasa Malaysia** ATAU kombinasi kedua-duanya.

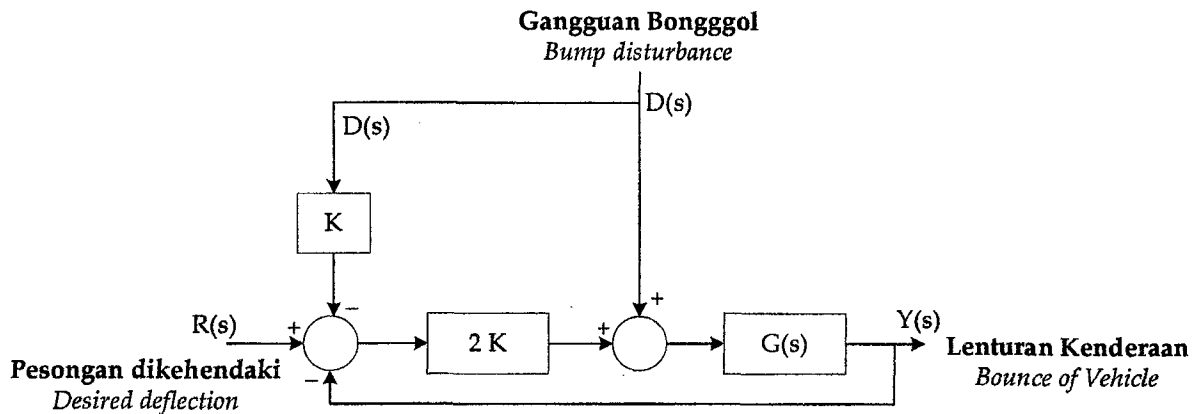
Lampiran :

1. Important Laplace Transform Pairs Table [1 mukasurat]
2. Block Diagram Transformations Table [1 mukasurat]

Jawapan bagi setiap soalan hendaklah dimulakan dengan mukasurat yang baru.

- S1. [a] Gantungan pada otomobil yang berupaya menangani bonggol pada jalan dengan menderia bonggol lebih awal menggunakan sensor ditunjukkan dalam Rajah S1[a]. Cari gandaan K yang sesuai supaya suatu kenderaan tidak lantun apabila pesongan diingini ialah $R(s) = 0$ dan gangguan ialah $D(s)$.

A suspension of an automobile capable of accommodating bumps on the road by sensing bumps ahead by sensors is shown in Figure Q1[a]. Find the appropriate gain K so that vehicle does not bounce when the desired deflection is $R(s) = 0$ and the disturbance is $D(s)$.

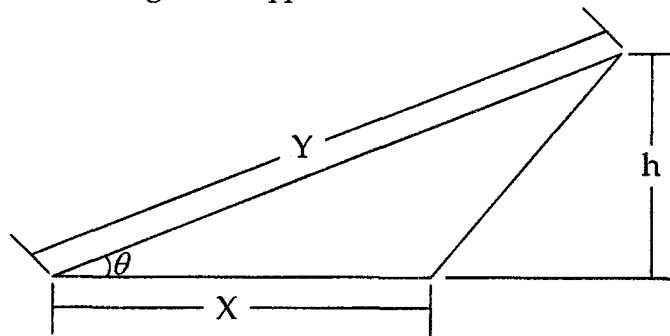


Rajah S1[a]
Figure Q1[a]

(60 markah)

- [b] Bagi segitiga yang ditunjukkan dalam Rajah S1[b] nilai-nilai rujukan X_o , Y_o dan θ_o ialah $X_o = 12$, $Y_o = 18$, and $\theta_o = 30^\circ$. Tentukan luas yang sesuai apabila $X = 10$, $Y = 20$ dan $\theta = 35^\circ$ dengan kaedah pelepasan.

For a triangle shown in Figure Q1[b] the reference values of X_o , Y_o and θ_o are $X_o = 12$, $Y_o = 18$, and $\theta_o = 30^\circ$. Determine the area when $X = 10$, $Y = 20$ and $\theta = 35^\circ$ using linear approximation.



Rajah S1[b]
Figure Q1[b]

(40 markah)

- S2 [a] **Rangkap pindah bagi suatu sistem ialah**

The transfer function of a system is

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{5(s+2)}{s^2 + 8s + 15}$$

Tentukan $y(t)$ apabila $r(t)$ ialah masukan pelangkah seunit.

Determine $y(t)$ when $r(t)$ is a unit step input.

(50 markah)

- [b] **Suatu sistem ditunjukkan dalam Rajah S2[b](i)**

A system is shown in Figure Q2[b](i)

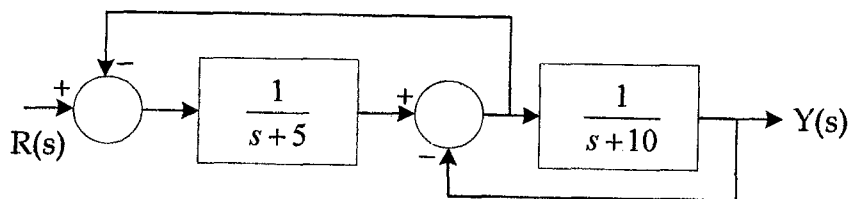
- (i) **Tentukan $G(s)$ dan $H(s)$ bagi gambarajah blok yang ditunjukkan dalam Rajah S2[b](ii) yang setara dengan gambarajah blok dalam Rajah S2[b](i)**

Determine $G(s)$ and $H(s)$ of the block diagram shown in Figure Q2[b](ii) that are equivalent to those of the block diagram of Figure Q2[b](i).

(35 markah)

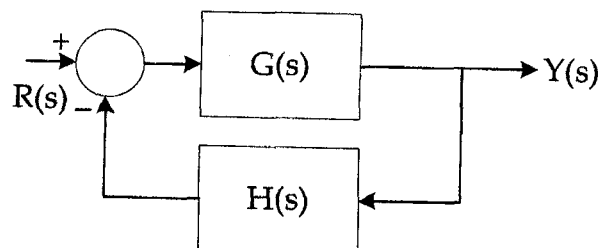
- (ii) **Tentukan $Y(s)/R(s)$ bagi Rajah S2[b](ii)**

Determine $Y(s)/R(s)$ for Figure Q2[b](ii)



Rajah S2[b](i)

Figure Q2[b](i)



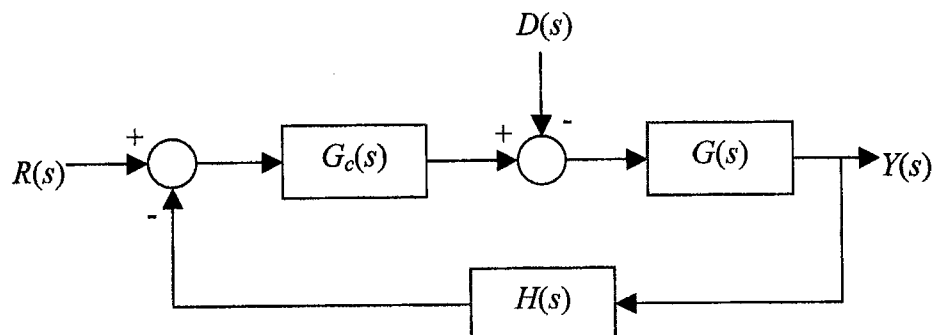
Rajah S2[b](ii)

Figure Q2[b](ii)

(15 markah)

- S3. Sebuah robot bergerak menggunakan roda-roda di atas lantai. Roda tersebut dipacu oleh sebuah motor servo dilengkapi dengan satu pengekod. Rajah blok bagi sistem kawalan posisinya ditunjukkan dalam Rajah S3. Rangkap pindah robot dengan motor servo dimodelkan sebagai $G(s) = \frac{24}{s(s+3)}$. Pengawal $G_c(s) = \frac{K}{s+1}$ dan pengekod $H(s) = 2$ akan digunakan untuk mengawal posisi robot.

A mobile robot uses wheels to travel on the ground. The wheels are driven by a servomotor equipped with encoder. The block diagram of the position control system is shown in Figure Q3. The transfer function of the robot with the servomotor is modelled as $G(s) = \frac{24}{s(s+3)}$. The controller $G_c(s) = \frac{K}{s+1}$ and the encoder $H(s) = 2$ will be used to control the position of the robot.



Rajah S3
Figure Q3

- [a] Kira kepekaan sistem akibat perubahan terhadap parameter K . Bandingkan kepekaan didapati dengan kepekaan sistem kawalan gelung terbuka.

Calculate the sensitivity of the system due to change in parameter K . Compare the sensitivity obtained with the sensitivity of open loop control system.

(30 markah)

- [b] Tentukan sambutan keadaan mantapnya bila masukan pelangkah $r(t) = 3u(t)$ dikenakan. Anggap gangguannya $d(t) = 0$.

Determine the steady state response when step input $r(t) = 3u(t)$ is applied. Assume the disturbance $d(t) = 0$.

(20 markah)

- [c] Dapatkan kesan gangguan pelangkah seunit terhadap sambutan pada keadaan mantap. Anggap masukan $r(t) = 0$.

Obtain the effect of a unit step disturbance on the response at steady state. Assume input $r(t) = 0$.

(25 markah)

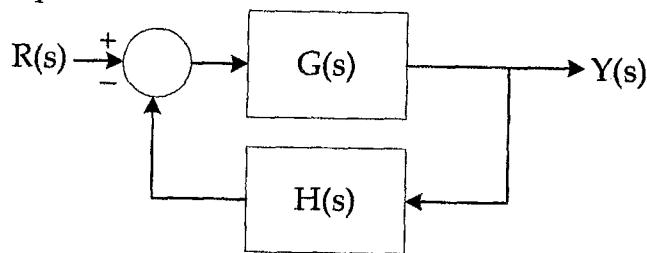
- [d] Apakah ralat keadaan mantapnya bila masukan pelangkah $r(t) = 3u(t)$ dikenakan. Anggap gangguannya $d(t) = 0$.

What is the steady state error when step input $r(t) = 3u(t)$ is applied. Assume the disturbance $d(t) = 0$.

(25 markah)

- S4. [a] Satu sistem kawalan suap-balik bagi sebuah penghantar ditunjukkan sebagai satu rajah blok dalam Rajah S4[a]. Motornya yang menggerakkan talisawat penghantar diwakili oleh satu rangkap $G(s) = \frac{16}{s(s+2)}$. Satu masukan pelangkah seunit dikenakan bagi menggerakkan penghantar dengan kelajuan malar.

A feedback control system of a conveyor is shown as a block diagram in Figure Q4[a]. The motor that moves the conveyor belt is represented by a function $G(s) = \frac{16}{s(s+2)}$. A unit step input is applied to move the conveyor with a constant speed.



Rajah S4[a]
Figure Q4[a]

- (i) Tentukan frekuensi tabii sistem darjah keduanya.

Determine the natural frequency of the second order system.

- (ii) Tentukan nisbah peredam sistem darjah keduanya.

Determine the damping ratio of the second order system.

- (iii) Kira masa pengenapan bagi sambutan kekal dalam 5% nilai akhirnya.

Calculate the settling time for which the response remains within 5% of the final value.

- (iv) **Kira masa memuncak sambutannya.**

Calculate the peak time of the response.

- (v) **Kira peratusan lajakan sambutannya.**

Calculate the percentage of overshoot of the response.

- (vi) **Kira masa meningkat sambutannya.**

Calculate the rise time of the response.

(60 markah)

- [b] **Sebuah pusat pemesinan kawalan berangka computer (CNC) mempunyai satu rangkap pindah bagi sistem kawalan suap-baliknya**

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{3}{(s^2 + 3s + 9)(s + 20)}$$

A Computer Numerical Control (CNC) machining centre has a transfer function of its feedback control system

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{3}{(s^2 + 3s + 9)(s + 20)}$$

- (i) **Plotkan posisi kutub-kutubnya dalam satah-s.**

Plot the position of the poles in s-plane.

- (ii) **Jika sistem darjah keduanya merusa, lakarkan sambutan hampir bagi sistem tersebut.**

If the second order system dominates, sketch the approximate response of the system.

- (iii) **Melihat pada posisi kutub ketiga yang nyata, komen sambutan sistem sebenar berbanding dengan sistem darjah keduanya.**

Looking at the position of the real third pole, comment the actual system response in comparison with the second order system.

(40 markah)

- S5. [a] **Tentukan keadaan bagi kenyataan-kenyataan berikut samada stabil, stabil marginal atau tidak stabil.**

Determine the condition for the following statements as either stable, marginally stable or unstable.

- (i) **Semua kutub pada sebelah kanan satah -s.**

All poles lie on right hand side of s-plane.

- (ii) Semua kutub pada sebelah kiri satah $-s$.

All poles lie on left hand side of s -plane.

- (iii) Satu kutub pada sebelah kanan dan kutub-kutub lain pada sebelah kiri satah $-s$.

One pole lies on right hand side and the other poles lie on left hand side of s -plane.

- (iv) Punca-punca pada paksi khayalan.

Roots lie on imaginary axis.

- (v) Punca berulang pada paksi khayalan.

Repeated roots lie on imaginary axis.

(25 markah)

- [b] Suatu sistem kawalan suap-balik mempunyai persamaan ciri.

A feedback 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 bagi K sebelum sistem tersebut menjadi tak stabil?

What should be the maximum value of K before the system becomes unstable?

(50 markah)

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

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

(25 markah)

- S6. Sistem kawalan bagi penguji penggantung otomobil mempunyai suap-balik negatif seunit dan suatu proses.

A control system for an automobile suspension tester has negative unity feedback and a process

$$G(s) = \frac{K(s^2 + 4s + 8)}{s^2(s + 4)}$$

Bagi punca dominant yang mempunyai $\zeta = 0.5$

For the dominant roots to have ζ equal to 0.5

- [a] Lukiskan londar puncanya.

Draw the root locus.

(40 markah)

- [b] Dapatkan nilai K.

Find the value of K.

(30 markah)

- [c] Dapatkan nilai punca-punca perusa dominant?

Find the value of dominant roots.

(30 markah)

- S7. Suatu sistem kawalan suap-balik seunit mempunyai satu proses

$$G(s) = \frac{1}{s(s+10)(s+20)}. \text{ Objektifnya adalah punca-punca meruas mempunyai}$$

ζ sama dengan 0.707 disamping mencapai ralat keadaan mantap sifar bagi satu masukan tanjakan.

A unity feedback system has a process $G(s) = \frac{1}{s(s+10)(s+20)}$. The objective is that the dominant roots have a ζ equal to 0.707 while achieving zero steady state error for a ramp input.

- [a] Cadangkan satu pengawal (PI) berkadaran serta kamiran dalam bentuk gandaan K_1 and K_2 .

Propose a proportional plus integral (PI) controller in term of gains K_1 and K_2 .

(25 markah)

Important Laplace Transform Pairs Table

$f(t)$	$F(s)$
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
$e^{-at} \sin \omega t$	$\frac{\omega}{(s+a)^2 + \omega^2}$
$e^{-at} \cos \omega t$	$\frac{(s+a)}{(s+a)^2 + \omega^2}$
$\frac{1}{\omega} [(\alpha - a)^2 + \omega^2]^{1/2} e^{-at} \sin(\omega t + \phi),$ $\phi = \tan^{-1} \frac{\omega}{\alpha - a}$	$\frac{s + \alpha}{(s+a)^2 + \omega^2}$
$\frac{\omega_n}{\sqrt{1 - \zeta^2}} e^{-\zeta \omega_n t} \sin \omega_n \sqrt{1 - \zeta^2} t, \zeta < 1$	$\frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta \omega_n s + \omega_n^2}$
$\frac{1}{a^2 + \omega^2} + \frac{1}{\omega \sqrt{a^2 + \omega^2}} e^{-at} \sin(\omega t - \phi),$ $\phi = \tan^{-1} \frac{\omega}{-a}$	$\frac{1}{s[(s+a)^2 + \omega^2]}$
$1 - \frac{1}{\sqrt{1 - \zeta^2}} e^{-\zeta \omega_n t} \sin(\omega_n \sqrt{1 - \zeta^2} t + \phi),$ $\phi = \cos^{-1} \zeta, \zeta < 1$	$\frac{\omega_n^2}{s(s^2 + 2\zeta \omega_n s + \omega_n^2)}$
$\frac{\alpha}{a^2 + \omega^2} + \frac{1}{\omega} \left[\frac{(\alpha - a)^2 + \omega^2}{a^2 + \omega^2} \right]^{1/2} e^{-at} \sin(\omega t + \phi),$ $\phi = \tan^{-1} \frac{\omega}{\alpha - a} - \tan^{-1} \frac{\omega}{-a}$	$\frac{(s + \alpha)}{s[(s+a)^2 + \omega^2]}$

Block Diagram Transformations Table

Transformation	Original Diagram	Equivalent Diagram
1. Combining blocks in cascade		 or
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		