

---

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Second Semester Examination  
Academic Session 2013/2014

June 2014

**ESA 251/3 – Control System Theory**  
*[Teori Sistem Kawalan]*

Duration : 3 hours  
Masa : 3 jam

---

Please ensure that this paper contains **TWELVE (12)** printed pages, **TWO (2)** pages appendix and **FOUR (4)** questions before you begin examination.

*Sila pastikan bahawa kertas soalan ini mengandungi **DUA BELAS (12)** mukasurat bercetak, **DUA (2)** mukasurat lampiran dan **EMPAT (4)** soalan sebelum anda memulakan peperiksaan*

**Instructions** : Answer **ALL** questions.

**Arahan** : Jawab **SEMUA** soalan].

Appendix/Lampiran:

1. Appendix A/ Lampiran A [1 page/mukasurat]
2. Second order time domain specification /  
Spesifikasi domain masa system tertib kedua [1 page/mukasurat]

You may answer all questions in English OR Bahasa Malaysia OR a combination of both.

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

Answer to each question must begin from a new page. In the event of any discrepancies, the English version shall be used.

*Jawapan untuk setiap soalan mestilah dimulakan pada mukasurat yang baru. Sekiranya terdapat sebarang percanggahan pada soalan peperiksaan, versi Bahasa Inggeris hendaklah diguna pakai.*

1. [a] A position control system converts a position output response. Position control systems find widespread applications in antennas. An antenna azimuth position control system is shown in detailed layout in Figure 1[a]. The purpose of this system is to have the azimuth angle output of the antenna,  $\theta_o(t)$ , follow input angle of potentiometer,  $\theta_i(t)$ . Draw the functional block diagram of the antenna positioning system and identify each component.

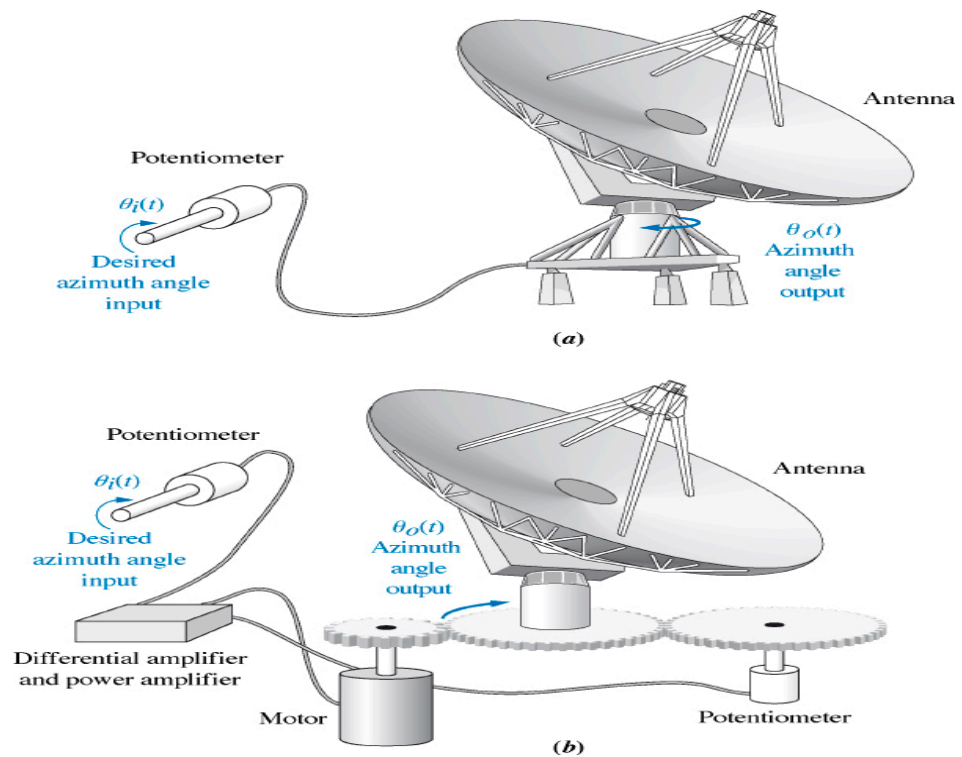


Figure 1 [a]

(10 marks)

- [b] Figure 1[b] shows a schematics diagram of mechanical system. The motion of this system consists of a translational motion of the center of mass and rotational motion about the center of mass. Mathematical modeling of the complete system is quite complicated.

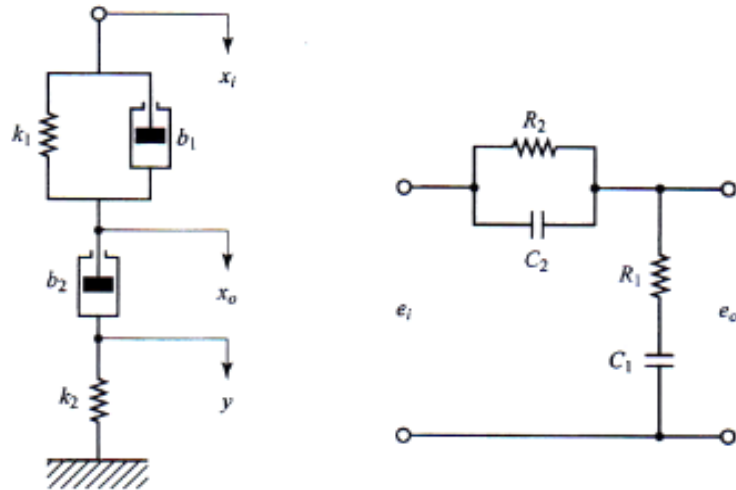


Figure 1[b]

- (i) Obtain the transfer function  $X_o(s)/X_i(s)$  of the mechanical system shown in Figure 1[b]. **(5 marks)**
- (ii) Obtain the transfer function  $E_o(s)/E_i(s)$  of the electrical system shown in Figure 1[b]. **(5 marks)**
- (iii) Show that these transfer functions of the two systems are of identical form and thus they are analogous systems. **(5 marks)**

2. [a] Consider the block diagram of Figure 2[a]. Simplifying it using block diagram reduction technique, determine the transfer function of the block.

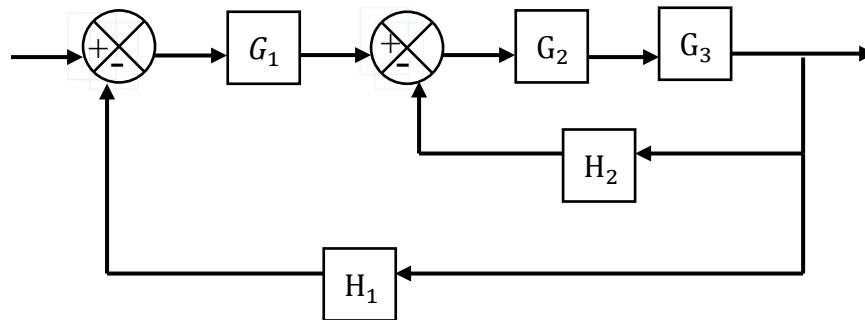


Figure 2[a]

(7 marks)

- [b] Find the transfer function for the system shown in Figure 2[a] by Mason gain Formula.

(8 marks)

- [c] For the system shown in Figure 2[b], determine the values of gain  $K$  and velocity feedback constant  $K_h$  so that the maximum overshoot in the unit step response is 0.2 and the peak time is 1 sec. With these values of  $K$  and  $K_h$ , obtain the rise time and settling time. Assume that  $J= 1 [kgm^2]$  and  $B= 1 [Nm/ rad/sec]$ .

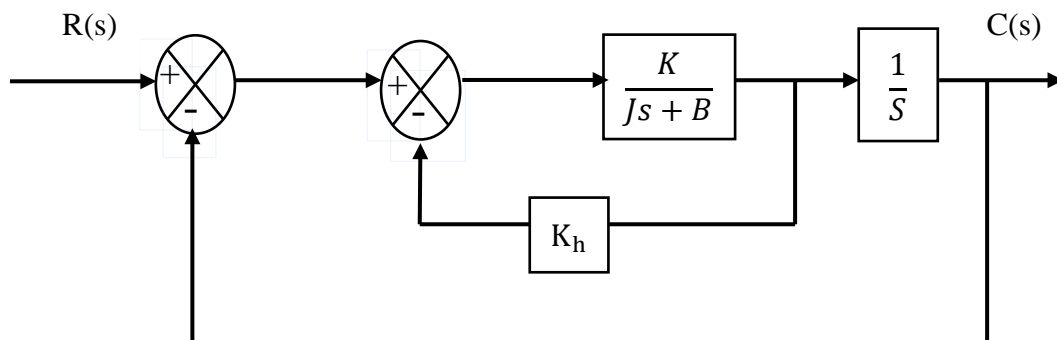
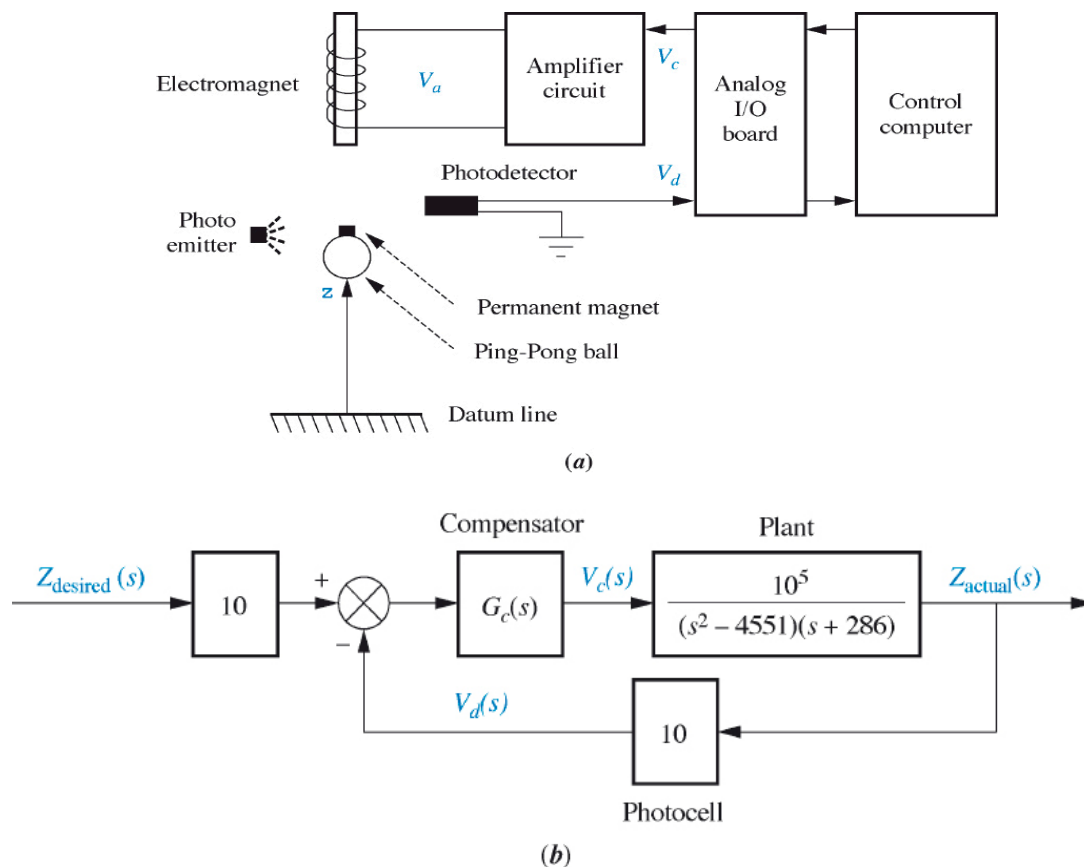


Figure 2[b]

(10 marks)

3. Magnetic levitation systems are now used to elevate and propel trains along tracks, A diagram of demonstration magnetic levitation system is shown in Figure 3(a). Action between a permanent magnet attached to the ping pong ball, the object to be levitated, and be controlled through  $V_a$  applied to the electromagnet provides the lift. The amount of elevation can be controlled through  $V_a$  applied to electromagnet as shown in Figure 3(a). The elevation is controlled by using a photo detector pair to detect the elevation of the Ping Pong ball . Assume that elevation control system is represented by figure 3(b) and do the following



**Figure 3**

- [a] Design a compensator  $G_c(s)$ , to yield a settling time of 0.1s or less if the step response is to have no more than 1% overshoot. Specify the compensators poles, zeros, and gain. (12 marks)
- [b] Cascade another compensator to minimize the steady state error and have the total settling time not exceed 0.5s. The compensator should not appreciably affect the transient response designed in part a specify the poles and zeros. (13 marks)

4. [a] Draw the root locus for the transfer function s

$$G(s)H(s) = K/s(s + 2)(s^2 + 2s + 5)$$

- (i) Determine the value of K for which the system becomes marginally stable.

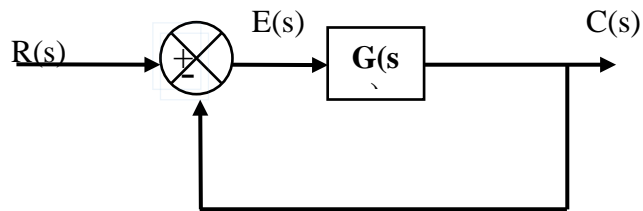
**(5 marks)**

- (ii) Shows sustained oscillations and calculate the frequency of these sustained oscillations.

**(5 marks)**

- [b] Draw the Bode log magnitude and phase plots of  $G(s)$  for the unity feedback system shown in Figure 4 ;

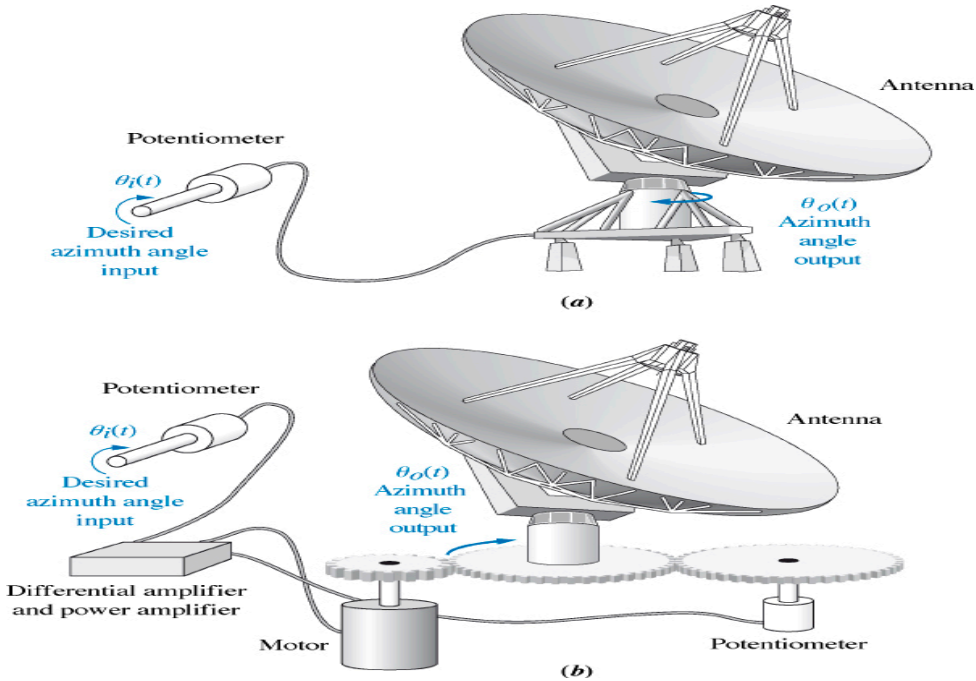
**(15 marks)**



**Figure 4**

$$G(s) = \frac{(S + 3)}{(s + 2)(s^2 + 2s + 25)}$$

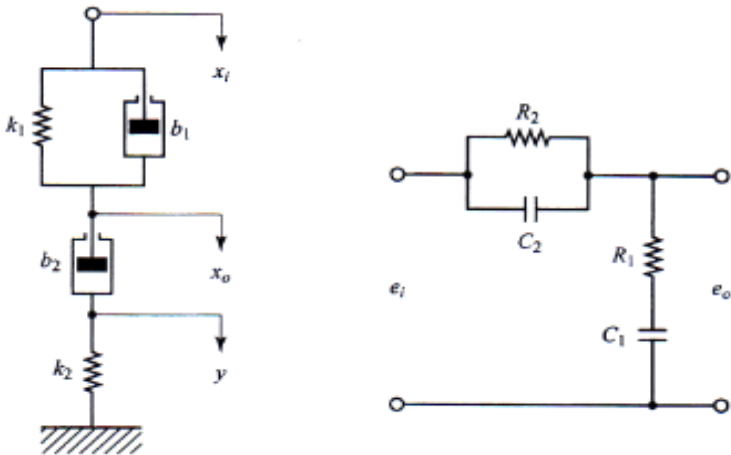
1. [a] *Rajah 1 menunjukkan sistem kawalan kedudukan bagi menukarkan sambutan keluaran kedudukan. Sistem kawalan kedudukan mencari aplikasi meluas dalam antenna. Satu sistem kawalan kedudukan azimut antenna adalah ditunjukkan dalam rajah susun atur terperinci seperti di Rajah 1[a]. Tujuan sistem ini adalah untuk mempunyai keluaran sudut azimut antenna,  $\theta_o(t)$ , ikut masukan sudut upaya,  $\theta_i(t)$ . Lukiskan gambarajah blok sistem dan kenalpasti elemen-elemen dalam gambar rajah tersebut.*



Rajah [a]

(10 markah)

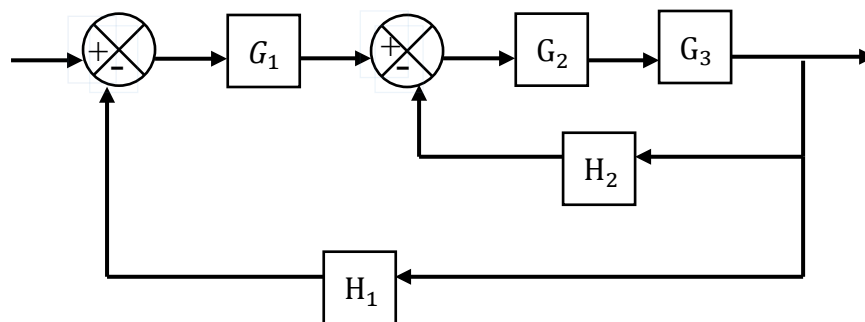
- [b] *Rajah 1[b] menunjukkan gambar rajah skema sistem mekanikal. Pergerakan sistem terdiri daripada pergerakan peralihan pusat jisim dan putaran pergerakan pada pusat jisim. Pemodelan matematik sistem yang lengkap agak rumit.*



Rajah 1[b]

- (i) Dapatkan rangkap pindah  $X_0(s)/X_i(s)$  sistem mekanikal yang ditunjukkan dalam Rajah 1[b].  
(5 markah)
- (ii) Dapatkan rangkap pindah  $E_0(s)/E_i(s)$  sistem elektrik yang ditunjukkan dalam Rajah 1[b].  
(5 markah)
- (iii) Tunjukkan bahawa rangkap-rangkap pindah kedua-dua sistem dalam bentuk yang serupa dan dengan itu mereka adalah sistem yang mirip.  
(5 markah)

2. [a] Berdasarkan gambarajah blok bagi Rajah 2(a). Ringkaskan ia menggunakan teknik pengurangan gambar rajah, dapatkan rangkap pindah bagi blok sistem tersebut.



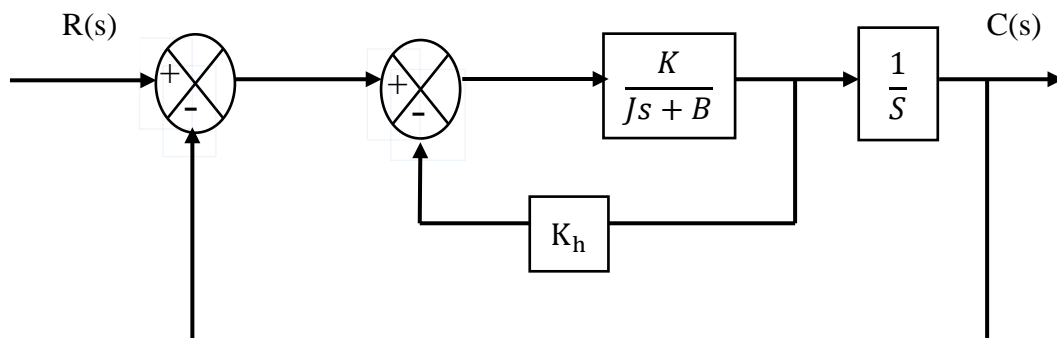
Rajah 2[a]

(8 markah)

- [b] Dapatkan rangkap pindah bagi sistem dalam Rajah 2(a) dengan menggunakan formula Mason

(8 markah)

- [c] Rajah 2[b] menunjukkan sebuah sistem tertutup, tentukan nilai-nilai gandaan  $K$  dan halaju suapbalik  $K_h$  berterusan supaya terlahaj maksimum dalam sambutan unit langkah ialah 0.2 saat dan masa puncak pada 1 saat. Dengan nilai-nilai  $K$  dan  $K_h$ , Dapatkan masa meningkat dan masa penganapan. Andaikan  $J=1$  [kgm<sup>2</sup>] dan  $B=1$  [Nm/rad/sec].



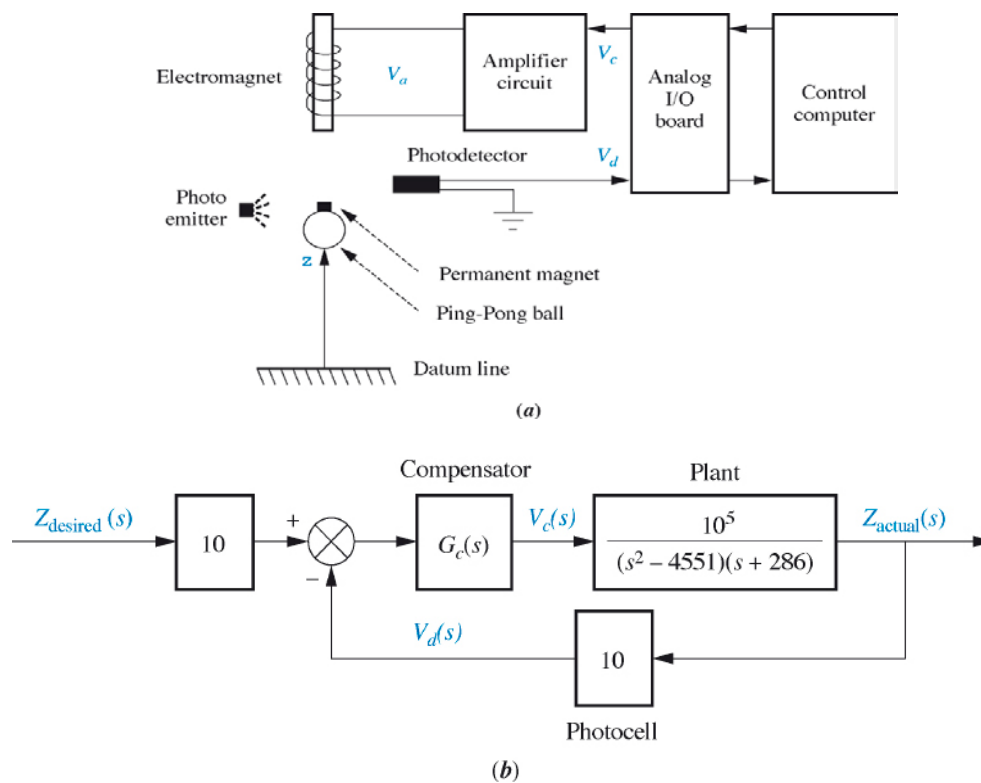
Rajah 2[b]



**(10 markah)**

3. Sistem pengangkatan magnet kini digunakan untuk meningkatkan dan menggerakkan kereta api di sepanjang trek, Gambar rajah demonstrasi sistem pengangkatan magnet ditunjukkan dalam Rajah 3[a].

Tindakan antara magnet kekal melekat pada bola ping pong, objek yang hendak diangkat dan dikawal melalui  $V_a$  digunakan dimana elektromagnet menghasilkan daya angkat. Jumlah ketinggian yang boleh dikawal melalui  $V_a$  digunakan bagi elektromagnet ditunjukkan seperti di Rajah 3. Ia dikawal dengan menggunakan sepasang pengesan foto untuk mengesan ketinggian bola Ping Pong. Dengan menganggap bahawa sistem kawalan ketinggian ditunjukkan pada Rajah 3 dan Tentukan berikut.



Rajah 3

- [a] Reka pemampas  $G_c(s)$ , untuk menghasilkan masa penetapan daripada 0.1s atau kurang jika sambutan langkah ini adalah untuk mempunyai tidak lebih dari 1% terlajak. Tentukan pemampas kutub, sifar, dan gandaan.

**(12 markah)**

- [b] Susunkan pemampas lain untuk meminimumkan ralat keadaan mantap dan mempunyai jumlah pengenapan masa tidak melebihi 0.5s. Pemampas tidak sepatutnya menjejaskan rekabentuk sambutan fana di bahagian yang menentukan kutub dan sifar.

**(13 markah)**

4. [a] Lukiskan londar punca untuk rangkap pindah

$$G(s)H(s) = K/s(s + 2)(s^2 + 2s + 5)$$

- [i] Tentukan nilai  $K$  yang mana sistem menjadi stabil.

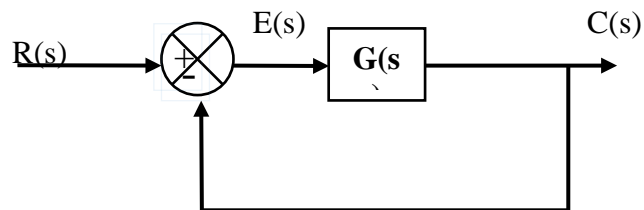
(5markah)

- [ii] Tunjukkan ayunan berterusan dan kira kekerapan ayunan ini untuk dikekalkan.

(5markah)

- [c] Lukiskan Bode log magnitud dan fasa plot  $G(s)$  bagi sistem suapbalik uniti yang ditunjukkan dalam Rajah 4;

(15markah)



Rajah 4.

$$G(s) = \frac{(s + 3)}{(s + 2)(s^2 + 2s + 25)}$$

## APPENDIX A/LAMPIRAN A

<i>Laplace transform</i>	<i>Time function</i>	<i>Description of time function</i>
1		A unit impulse
$\frac{1}{s}$		A unit step function
$\frac{e^{-st}}{s}$		A delayed unit step function
$\frac{1 - e^{-st}}{s}$		A rectangular pulse of duration $T$
$\frac{1}{s^2}$	$t$	A unit slope ramp function
$\frac{1}{s^3}$	$\frac{t^2}{2}$	
$\frac{1}{s + a}$	$e^{-at}$	Exponential decay
$\frac{1}{(s + a)^2}$	$t e^{-at}$	
$\frac{2}{(s + a)^3}$	$t^2 e^{-at}$	
$\frac{a}{s(s + a)}$	$1 - e^{-at}$	Exponential growth
$\frac{a}{s^2(s + a)}$	$t - \frac{(1 - e^{-at})}{a}$	
$\frac{a^2}{s(s + a)^2}$	$1 - e^{-at} - ate^{-at}$	
$\frac{s}{(s + a)^2}$	$(1 - at)e^{-at}$	
$\frac{1}{(s + a)(s + b)}$	$\frac{e^{-at} - e^{-bt}}{b - a}$	
$\frac{ab}{s(s + a)(s + b)}$	$1 - \frac{b}{b - a}e^{-at} + \frac{a}{b - a}e^{-bt}$	
$\frac{1}{(s + a)(s + b)(s + c)}$	$\frac{e^{-at}}{(b - a)(c - a)} + \frac{e^{-bt}}{(c - a)(a - b)} + \frac{e^{-ct}}{(a - c)(b - c)}$	
$\frac{\omega}{s^2 + \omega^2}$	$\sin \omega t$	Sine wave
$\frac{s}{s^2 + \omega^2}$	$\cos \omega t$	Cosine wave
$\frac{\omega}{(s + a)^2 + \omega^2}$	$e^{-at} \sin \omega t$	Damped sine wave
$\frac{s + a}{(s + a)^2 + \omega^2}$	$e^{-at} \cos \omega t$	Damped cosine wave
$\frac{\omega^2}{s(s^2 + \omega^2)}$	$1 - \cos \omega t$	
$\frac{\omega^2}{s^2 + 2\zeta\omega s + \omega^2}$	$\frac{\omega}{\sqrt{(1 - \zeta^2)}} e^{-\zeta\omega t} \sin[\omega\sqrt{(1 - \zeta^2)}t]$	
$\frac{\omega^2}{s(s^2 + 2\zeta\omega s + \omega^2)}$	$1 - \frac{1}{\sqrt{(1 - \zeta^2)}} e^{-\zeta\omega t} \sin[\omega\sqrt{(1 - \zeta^2)}t + \phi]$	
with $\zeta < 1$	with $\zeta = \cos \phi$	

**SECOND ORDER TIME DOMAIN SPECIFICATION  
(SPESIFIKASI DOMAIN MASA SISTEM TERTIB KEDUA)**

% Overshoot,  
(%Lanjakan Maksimum)

$$\% C_P = 100e^{-\left[\frac{\zeta\pi}{\sqrt{1-\zeta^2}}\right]}$$

Peak Time, *Masa puncak*,

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

Rise time, *Masa menaik*,

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

Settling time, *Masa pengenapan*,

$$t_s = \frac{3}{\zeta\omega_n} \text{ (for 5\% criteria/ kriteria 5\%)}$$

Settling time, *Masa pengenapan*,

$$t_s = \frac{5}{\zeta\omega_n} \text{ (for 2\% criteria/kriteria 2\%)}$$

Error Steady State, *Ralat keadaan mantap*,

$$e_{ss} = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{sR(s)}{1 + G(s)H(s)}$$

-ooo000ooo-