
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

First Semester Examination
2013/2014 Academic Session

December 2013 / January 2014

EEE 350 – CONTROL SYSTEMS
[SISTEM KAWALAN]

Duration : 3 hours
Masa : 3 jam

Please check that this examination paper consists of **FIFTEEN (15)** pages and Appendix **ONE (1)** pages of printed material before you begin the examination.

*[Sila pastikan bahawa kertas peperiksaan ini mengandungi **LIMA BELAS (15)** muka surat dan Lampiran **SATU (1)** muka surat bercetak sebelum anda memulakan peperiksaan ini]*

Instructions: This question paper consists **SIX (6)** questions. Answer **FIVE (5)** questions. All questions carry the same marks.

Arahan: Kertas soalan ini mengandungi **ENAM (6)** soalan. Jawab **LIMA (5)** soalan. Semua soalan membawa jumlah markah yang sama]

Answer to any question must start on a new page.

[Mulakan jawapan anda untuk setiap soalan pada muka surat yang baru]

“In the event of any discrepancies, the English version shall be used”.

[Sekiranya terdapat sebarang percanggahan pada soalan peperiksaan, versi Bahasa Inggeris hendaklah diguna pakai]

1. (a) Pertimbangkan satu sistem yang mempunyai persamaan kebezaan berikut :

Consider a system with the following differential equation:

$$\frac{d^2y(t)}{dt^2} + 3\frac{dy(t)}{dt} - 4y(t) = t$$

Di mana

where

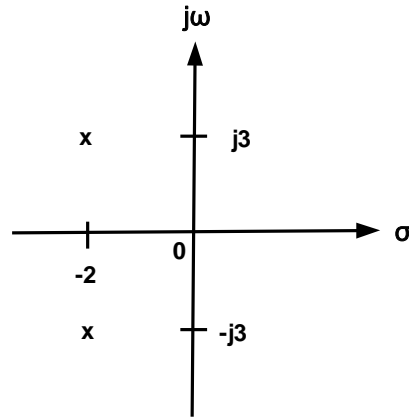
$$\begin{aligned} y(0) &= 1 \\ \frac{dy(0)}{dt} &= 0 \end{aligned}$$

Selesaikan persamaan tersebut menggunakan kaedah klasik dan tentukan sambutan, $y(t)$.

Solve the equation using classical method and determine the response, $y(t)$.

(50 markah//marks)

- (b) Lokasi kutub-kutub bagi suatu sistem ditunjukkan dalam Rajah 1.
The location of the poles for a system is shown in Figure 1.



Rajah 1
Figure 1

Tuliskan fungsi pindah, $\frac{Y(s)}{X(s)}$ bagi sistem tersebut.

Write the transfer function, $\frac{Y(s)}{X(s)}$ of this system.

Carikan nilai-nilai yang berikut:

Find the values of the following:

- (i) ζ , nisbah pengesetan
 ζ , damping ratio
- (ii) ω_n , frekuensi semulajadi
 ω_n , natural frequency
- (iii) %OS, peratus lajakan
%OS, overshoot percentage
- (iv) T_s , masa reda
 T_s , setting time
- (v) T_p , masa puncak
 T_p , peak time

Nyatakan sebarang andaian yang dibuat.
State any assumptions made.

(50 markah/marks)

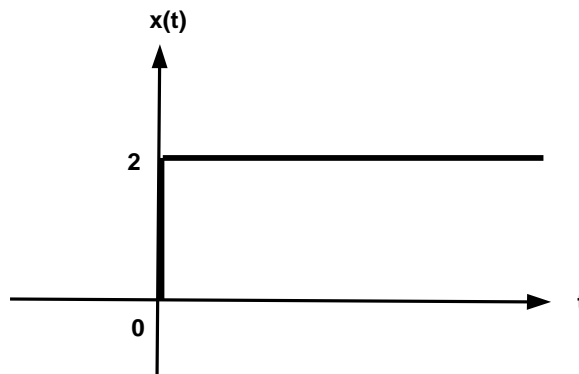
2. (a) Suatu sistem mempunyai fungsi pindah, $G(s)$ seperti di bawah:-
A system has a transfer function, $G(s)$ as below:-

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

Apakah sambutan sistem tersebut apabila fungsi masukan adalah suatu sistem kausal seperti ditunjukkan dalam Rajah 2(a)?

What is the response of the system when the input function is a causal system $x(t)$ as shown in Figure 2(a)?

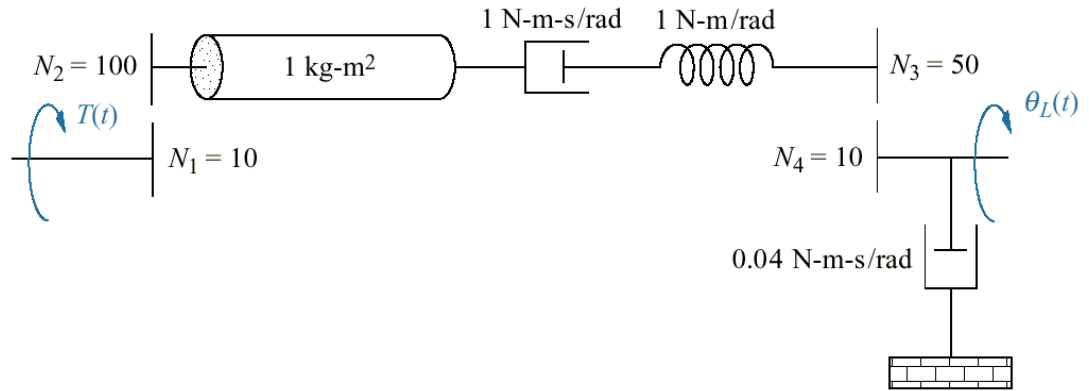
(40 markah/marks)



Rajah 2(a)
Figure 2(a)

- (b) Suatu sistem mekanikal putaran dengan gear ditunjukkan dalam Rajah 2(b).

A rotational mechanical system with gears is as shown in Figure 2(b).



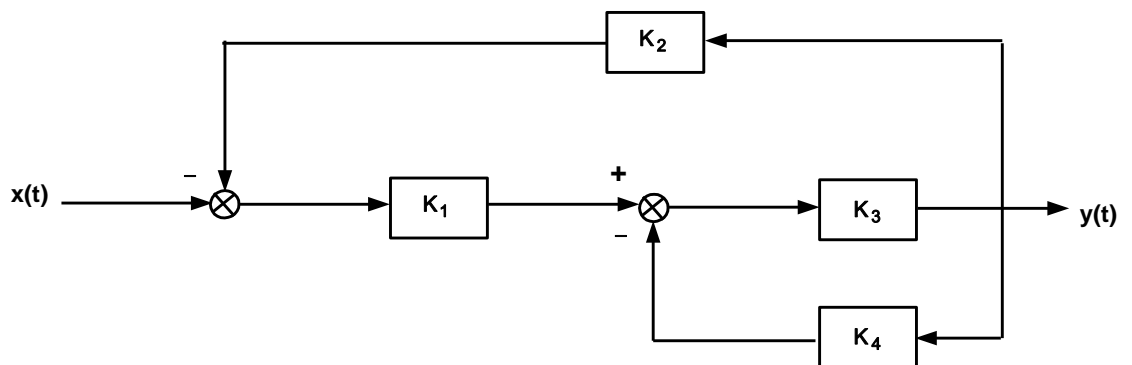
Rajah 2(b)
Figure 2(b)

Carikan fungsi pindahannya, $G(s) = \frac{\theta_L(s)}{T(s)}$

Find its transfer function, $G(s) = \frac{\theta_L(s)}{T(s)}$

(60 markah/marks)

3. (a) Suatu sub-sistem kawalan ditunjukkan dalam Rajah 3(a).
A control sub-system is shown in Figure 3(a).



Rajah 3(a)
Figure 3(a)

Di mana:-

Where:-

$$K_1 = K$$

$$K_2 = 1$$

$$K_3 = \frac{1}{s(s+2)(s+3)}$$

$$K_4 = s$$

Dengan menggunakan kaedah Routh-Hurwitz, anggarkan nilai K supaya sistem kekal stabil.

By employing Routh-Hurwitz criterion, estimate the value of K for the system to remain stable.

(50 markah/marks)

- (b) Sistem dalam Rajah 3(b) mempunyai spesifikasi seperti berikut:

The system in Figure 3(b) have the following specifications:

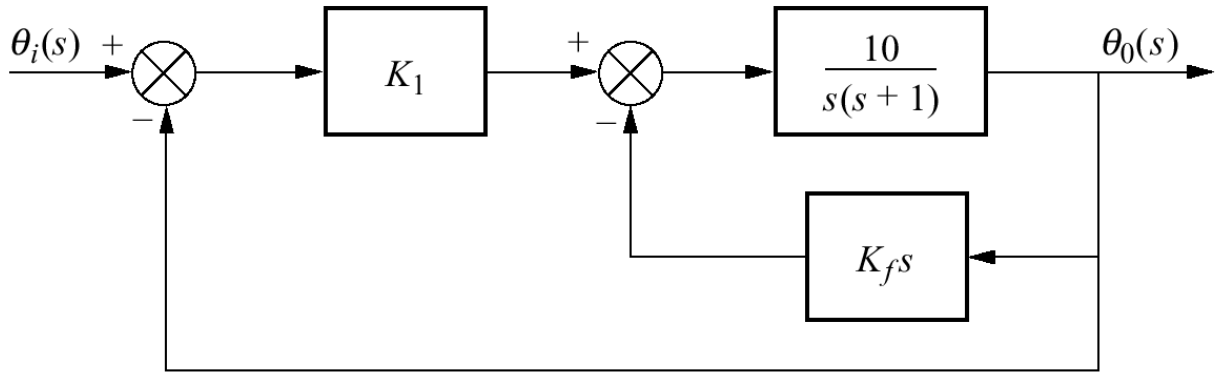
$$K_v = 10$$

$$\zeta = 0.5$$

Kirakan nilai-nilai K_1 dan K_f yang diperlukan supaya spesifikasi-spesifikasi sistem dapat dipenuhi.

Calculate the values of K_1 and K_f required for the specifications of the system to be met.

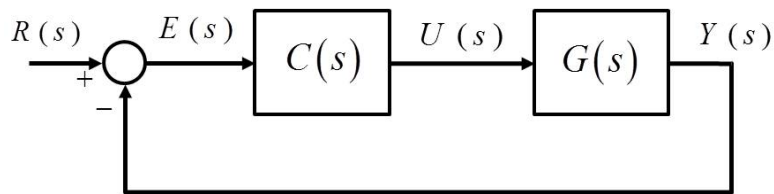
(50 markah/marks)



Rajah 3(b)
Figure 3(b)

4. Consider the closed-loop system below with
Pertimbangkan sistem gelung tertutup seperti di bawah

$$G(s) = \frac{5}{(s-1)(s+3)}$$



Rajah 4: Gambarajah blok sebuah sistem gelung tertutup
Figure 4: Block diagram of a closed-loop system

- (a) Jika sebuah pengawal dipilih sebagai $C(s)=k_p$, apakah nilai k_p yang menyebabkan sistem gelung tertutup tersebut stabil.

If the controller is chosen as $C(s)=k_p$, for what values of k_p is the closed-loop system stable?

(15 markah/marks)

- (b) Lakarkan londar punca bagi rangkap pindah gelung ke hadapan $G(s)C(s)$.

Sketch the root locus of the forward loop transfer function $G(s)C(s)$.

(25 markah/marks)

- (c) Mengapa dikatakan idea tidak baik jika sebuah pengawal $C(s)=k_p$ dipilih dengan nilai k_p yang tinggi?

Why might it be a bad idea to choose a controller $C(s)=k_p$ with k_p large?

(10 markah/marks)

- (d) Dicadangkan bahawa sebuah pengawal dipilih dalam bentuk
It is proposed instead to choose a controller of the form

$$C(s) = k_p \frac{s+1}{s+2}$$

untuk suatu nilai k_p .

for some k_p .

Lakarkan londa punca bagi rangkap pindah gelung kehadapan $G(s)C(s)$. Anda mungkin mendapati penggunaan pemfaktoran polinomial di bawah berguna.

Sketch the root locus of the forward loop transfer function $G(s)C(s)$. You may find it useful to exploit the following polynomial factorization:

$$2s^3 + 7s^2 + 8s + 7 \approx (s + 2.45)(2s^2 + 2.10s + 2.86)$$

(50 markah/marks)

5. Sebuah pengawal bagi suatu sistem gelung tertutup seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 5(a) direkabentuk untuk sebuah loji berangkap pindah seperti berikut:

A controller for a closed-loop system as shown in Figure 5(a) is to be designed for a plant with transfer function as follow:

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

...10/-

-

3

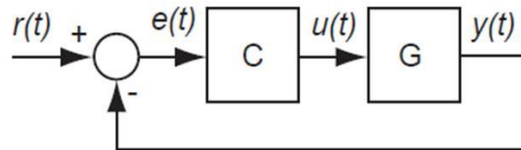
5

0

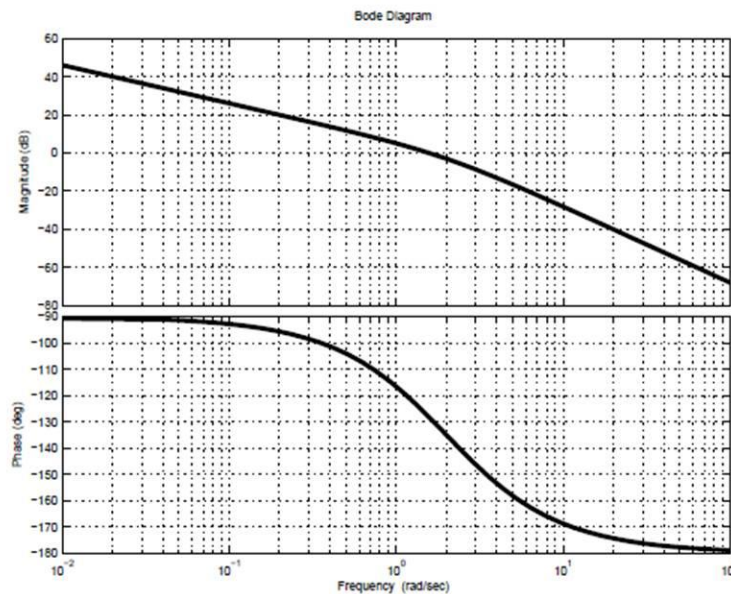
1

dengan spesifikasi ralat keadaan mantap dari rujukan satu unit tanjakan kurang dari 0.05, dan puncak tersasar untuk sambutan langkah tidak melebihi 17%. Plot Bode untuk $G(s)$ dipaparkan di dalam Rajah 5(b).

such that the steady-state error to a unit ramp set point is less than 0.05, and the peak overshoot of the step response is no more than 17%. The Bode plot of $G(s)$ is shown in Figure 5(b).



Rajah 5(a): Sistem gelung tertutup
Figure 5(a): Closed-loop system



Rajah 5(b): Plot Bode $G(s)$.
Figure 5(b): Bode plot of $G(s)$.

- (a) Berdasarkan Rajah 5(a), apakah rangkap pindah gelung tertutup dari rujukan $r(t)$ kepada keluaran $y(t)$ jika pengawal suapbalik berkadar terus $C(s)=k_p$ digunakan?

Based on Figure 5(a). what is the closed-loop transfer function from set point $r(t)$ to output $y(t)$ when a proportional feedback controller $C(s)=k_p$ is used?

(10 markah/marks)

- (b) Berdasarkan jawapan anda di (a), nyatakan rangkap pindah dari $r(t)$ ke ralat $e(t)$. Apakah ralat keadaan mantap dari rujukan satu unit tanjakan (dalam bentuk k_p)?

Based on your answer in (a), state the transfer function from $r(t)$ to the error $e(t)$. What is the steady-state error to a unit ramp set point (in terms of k_p)?

(20 markah/marks)

- (c) Apakah keadaan gandaan k_p yang membolehkan spesifikasi untuk rujukan kepada satu unit tanjakan ditepati?

Under what condition on the gain k_p can the ramp set point specification be met?

(10 markah/marks)

- (d) Dengan pengawal gandaan yang memenuhi keadaan rujukan tanjakan, apakah nilai jidar fasa tertinggi yang boleh dicapai (berkemungkinan plot Bode berguna untuk penyelesaian)? Dan apakah nilai puncak tersasar yang terhasil?

With a controller gain that meets the condition on the ramp set point, what is the largest achievable phase margin (it may be useful to refer to the Bode plot)? And what is its corresponding peak overshoot?

(30 markah/marks)

- (e) Apakah nilai jidar fasa yang diperlukan untuk menepati spesifikasi puncak tersasar (iaitu kurang dari 17%)?

What phase margin is required to achieve the peak overshoot specification (i.e. less than 17%)?

(20 markah/marks)

- (f) Huraikan jenis pemampas yang diperlukan untuk menepati kedua-dua spesifikasi tersebut.

Explain the type of compensator that is required to achieve both specifications.

(10 markah/marks)

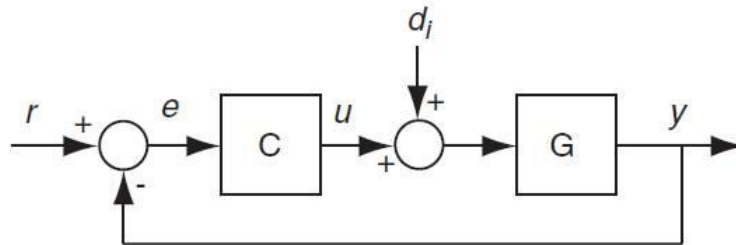
6. Pertimbangkan sistem kawalan yang digambarkan dalam Rajah 6. Loji tersebut mempunyai rangkap pindah

Consider the control system depicted in Figure 6. The plant has a transfer function

$$G(s) = \frac{18}{s(s + 6)}$$

dan dikenakan gangguan masukan langkah $d_i(t)$. Keluaran loji tersebut perlu mengesan isyarat rujukan $r(t)$ di dalam gelung tertutup.

and is subject to step input disturbances $d_i(t)$. The plant output is required to track a reference signal $r(t)$ in closed-loop.



Rajah 6: Sistem kawalan suapbalik.
Figure 6: Feedback control system.

- (a) Andaikan $C(s)$ ialah sebuah pengawal suap balik berkadar terus
Suppose $C(s)$ is a proportional feedback controller

$$C(s) = k_p$$

Lukiskan plot Nyquist untuk rangkap pindah gelung hadapan $G(s)C(s)$. Apakah nilai-nilai k_p yang menyebabkan sistem gelung tertutup itu stabil?

Draw the Nyquist plot of the forward loop transfer function $G(s)C(s)$. What are the values of k_p for which the closed-loop system is stable?

(25 markah/marks)

- (b) Apakah nilai gandaan k_p yang diperlukan untuk memastikan nilai puncak tersasar kurang dari 17%? Gunakan anggaran $M_p \approx 1 - \frac{\zeta}{0.6}$ di mana M_p dan ζ adalah masing-masing puncak tersasar dan nisbah redaman.

What gain k_p is required to ensure the peak overshoot in the response to a step change in $r(t)$ is less than 17%? Use the approximation $M_p \approx 1 - \frac{\zeta}{0.6}$ where M_p and ζ are the peak overshoot and damping ratio, respectively.

(25 markah/marks)

- (c) Apakah nilai gandaan k_p yang diperlukan untuk memastikan perubahan langkah satu unit di dalam $d_i(t)$ mengubah keluaran keadaan mantap kurang dari 0.05?

What gain k_p is required to ensure that a unit step change in $d_i(t)$ should change the steady state value of the output by less than 0.05?

(20 markah/marks)

- (d) Adakah tidak mustahil untuk menepati kedua-dua spesifikasi di atas secara serentak?

Is it possible to satisfy both performance specifications at once?

(5 markah/marks)

- (e) Rekakan sebuah pengawal PD
Design a PD controller

$$C(s) = k_p(1 + T_D s)$$

untuk loji tersebut yang menepati kedua-dua spesifikasi yang dinyatakan.
for the plant that meets both specifications.

(25 markah/marks)