

SULIT



First Semester Examination
2018/2019 Academic Session

December 2018 / January 2019

EEE453 – CONTROL SYSTEM DESIGN
(Rekabentuk Sistem Kawalan)

Duration 3 hours
(Masa : 3 jam)

Please check that this examination paper consists of **TWELVE (12)** pages of printed material and **ONE (1)** page of appendix before you begin the examination.

*Sila pastikan bahawa kertas peperiksaan ini mengandungi **DUA BELAS (12)** muka surat bercetak dan **SATU (1)** muka surat Lampiran sebelum anda memulakan peperiksaan ini.*

Instructions: This question paper consists of **SIX (6)** questions. Answer **FIVE (5)** questions : **THREE (3)** from Section A and **TWO (2)** from Section B. All questions carry the same marks.

[Arahan: Kertas soalan ini mengandungi **ENAM (6)** soalan. Jawab **LIMA (5)** soalan : **TIGA (3)** daripada Bahagian A dan **DUA (2)** daripada Bahagian B. 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]

...2/-
SULIT

SECTION A**BAHAGIAN A**

1. Consider the third order system transfer function in Equation (1) representing a DC motor with embedded filter used to actuate one of the joint of the articulated robot arm as shown in Figure 1.

Pertimbangkan rangkaian pindah bertertib ketiga seperti yang dipamerkan dalam Persamaan (1) mewakili sebuah motor DC beserta penapis terbenam digunakan untuk menggerakkan salah satu sendi lengan robot seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 1.

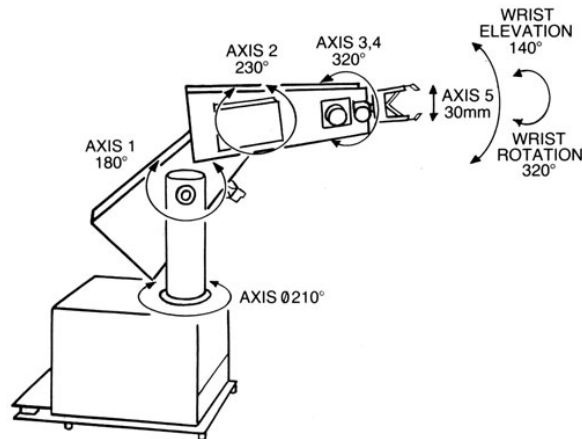


Figure 1 An articulated robot arm

Rajah 1 Sebuah robot lengan bersendi

$$KG(s) = \frac{100K}{s(s+36)(s+100)} \quad (1)$$

A controller is to be designed to resolve the sluggish performance issue. A unity feedback control system is assumed.

Sebuah pengawal perlu direkabentuk untuk menyelesaikan isu prestasi yang lembap. Sistem kawalan suapbalik uniti diandaikan.

- (a) Design a phase lead controller for the system above so that the closed-loop system satisfies the following performance specifications:

Rekabentuk sebuah pengawal fasa-mendulu untuk sistem di atas supaya sistem gelung tertutup ini memenuhi spesifikasi prestasi berikut:

- Velocity error constant, $K_v = 40$.

Pemalar ralat halaju, $K_v = 40$.

- Required phase margin is 50° .

Jidar fasa yang diperlukan adalah 50° .

Show all your workings and plot frequency response of the uncompensated system using the asymptotical approach Bode plot.

Tunjukkan kesemua jalan kira dan lakarkan sambutan frekuensi bagi sistem tak terpampas ini menggunakan pendekatan asimptot lakaran Bode.

(40 marks/markah)

- (b) Analytically verify (using Bode plot) that the designed phase lead controller satisfy the performance specification in (a) by only drawing the controller frequency response.

Sahkan secara analitik (menggunakan lakaran Bode) bahawa pengawal fasa-mendulu memenuhi spesifikasi prestasi dalam (a) dengan hanya melakar sambutan frekuensi pengawal.

(30 marks/markah)

- (c) What is the special consideration when designing a phase-lead controller?

Apakah yang perlu dipertimbangkan ketika merekabentuk sebuah pengawal fasa-mendulu?

(15 marks/markah)

(d) What is the impact to the system bandwidth, ω_{BW} of the compensated system?

Apakah kesan pada sistem jalur lebar, ω_{BW} bagi sistem terpampas ini?

(15 marks/markah)

2. Consider a plant described by:

Pertimbangkan sebuah loji yang diwakili oleh:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 7 & -4 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \end{bmatrix} u \\ y &= [1 \quad 3]x \end{aligned} \tag{2.1}$$

(a) Draw a block diagram for the plant with one integrator for each state-variable.

Lukis gambarajah blok untuk loji dengan satu pengkamir untuk setiap pemboleh ubah keadaan.

(20 marks/markah)

(b) Investigate whether the system is controllable.

Kaji sekiranya sistem ini boleh dikawal.

(20 marks/markah)

(c) Find the transfer function using matrix algebra.

Cari fungsi pindah menggunakan algebra matriks.

(30 marks/markah)

(d) Find the closed-loop characteristic equation if the feedback is

Cari persamaan ciri gelung tertutup jika maklum balas tersebut

$$u = -Ky \tag{2.2}$$

(30 marks/markah)

3. (a) A compensator can be designed by integrating a full-state feedback law, $K = [k_1 \ k_2]$, as shown in Figure 3.

Sebuah pemampas boleh direka dengan mengintegrasikan hukum suap-balik penuh keadaan $K = [k_1 \ k_2]$ seperti yang digambarkan dalam Rajah 3.

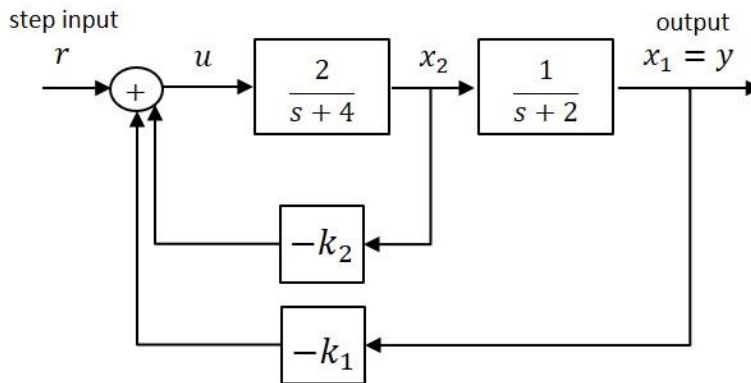


Figure 3: State: Feedback Control

Rajah 3: Pengawal suap balik keadaan

Let $k_1 = 6$ and $k_2 = 4$. Find the corresponding closed-loop transfer function from $R(s)$ to $Y(s)$.

Biarkan $k_1 = 6$ dan $k_2 = 4$. Carikan rangkap pindah gelung tertutup dari $R(s)$ kepada $Y(s)$.

(30 marks/markah)

- (b) Suppose it is desired that the output tracks the step input as $t \rightarrow \infty$. Design an appropriate controller to achieve this and sketch a modification on the structure in Figure 3 to include the designed controller.

Katakan ia dikehendaki supaya keluaran mengikuti langkah masukan apabila $t \rightarrow \infty$. Rekakan pengawal yang bersesuaian untuk mencapai spesifikasi tersebut dan lakarkan perubahan kepada struktur di dalam Rajah 3 untuk memasukkan pengawal yang telah direka.

(30 marks/markah)

...6/-

SULIT

- (c) A first order transfer function system is described by
Rangkap pindah bagi sebuah sistem bertertib satu diwakilkan oleh

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

and the initial state is given by $x(0) = 1$. Suppose a state-feedback with a controller gain k is to be designed using an optimal control technique with a performance index

dan keadaan awal sistem tersebut ialah $x(0) = 1$. Katakan suap-balik keadaan dengan gandaan pengawal k akan direkakan menggunakan teknik pengawal optimal dengan indeks prestasi

$$J = \int_0^{\infty} 2x^2 dt$$

Find the index J in terms of the controller gain k , and calculate the optimal value of k . Discuss your answer.

Carikan indeks J dalam sebutan gandaan pengawal k , dan kirakan nilai optimum k . Bincangkan jawapan anda.

(40 marks/markah)

Section B**Bahagian B**

4. For the system of Figure 4, the plant transfer function is given by Equation (4).
Untuk sistem Rajah 4, rangkap pindah loji diberi oleh Persamaan (4)

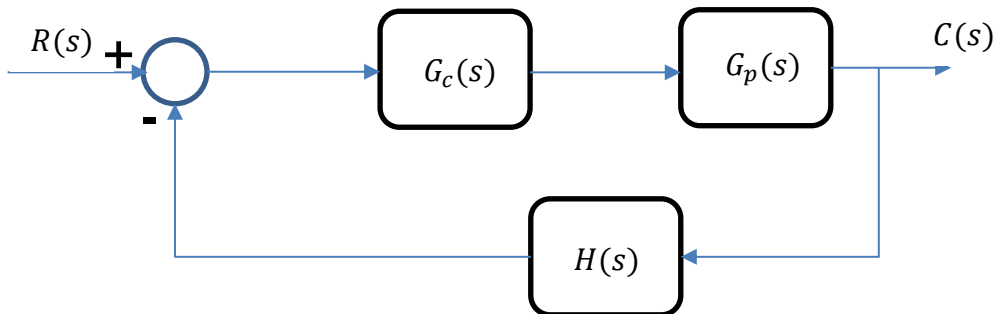


Figure 4

Rajah 4

$$G_p(s) = \frac{C(s)}{R(s)} = \frac{80}{(s + 0.2)(s + 2)(s + 20)}$$

(4)

The frequency response $G_p(j\omega)$ is given in Table 4. Assume that $H(s)=1$.

Sambutan frekuensi $G_p(j\omega)$ diberi dalam Jadual 4. Andaikan $H(s)=1$.

- (a) Using the data tabulated in Table 4, approximate the system $G_p(s)$ gain and phase margin.

Menggunakan data yang dipaparkan dalam Jadual 4, anggarkan jidar gandaan dan jidar fasa bagi sistem $G_p(s)$.

(20 marks/markah)

- (b) Without drawing the bode plot, design a phase-lag controller that will provide the compensated system a phase margin of 80° .
Tanpa perlu melakar plot bod, rekabentuk pengawal fasa-mengekor yang dapat memberikan sistem terpampas berjidar fasa sebanyak 80° .
(50 marks/markah)
- (c) What is the advantage of phase-lag controller?
Apakah kebaikan pengawal fasa-mengekor?
(15 marks/markah)
- (d) What is the draw-back to be considered when designing a phase-lag controller?
Apakah kelemahan yang perlu dipertimbangkan sekiranya merekabentuk sebuah pengawal fasa-mengekor?
(15 marks/markah)

Table 4
Jadual 4

Frequency	Magnitude	Magnitude (dB)	Phase (deg)
0.010	9.987	19.989	-3.178
0.020	9.950	19.956	-6.341
0.030	9.888	19.902	-9.476
0.040	9.804	19.828	-12.570
0.050	9.698	19.734	-15.612
0.060	9.574	19.622	-18.590
0.070	9.433	19.493	-21.495
0.080	9.277	19.348	-24.321
0.090	9.110	19.190	-27.062
0.100	8.933	19.020	-29.714
0.200	7.036	16.946	-51.284
0.300	5.485	14.784	-65.700
0.400	4.384	12.838	-75.891
0.500	3.602	11.131	-83.667
0.600	3.028	9.622	-89.983
0.700	2.591	8.271	-95.349
0.800	2.250	7.044	-100.056
0.900	1.976	5.917	-104.276
1.000	1.752	4.870	-108.118
2.000	0.700	-3.097	-135.000
3.000	0.365	-8.757	-151.027
4.000	0.219	-13.192	-161.883
5.000	0.144	-16.832	-169.944
6.000	0.101	-19.922	-176.355
7.000	0.074	-22.609	-181.708
8.000	0.056	-24.993	-186.333
9.000	0.044	-27.141	-190.426
10.000	0.035	-29.100	-194.109
20.000	0.007	-43.054	-218.717
30.000	0.003	-52.182	-232.114

5. (a) Convert the following transfer function of a plant into a state-space representation using **Observer Canonical Form**. Show all the steps including the signal flow graph construction.

*Tukarkan rangkap pindah sebuah loji kepada perwakilan ruang-keadaan menggunakan **Bentuk Kanonikal Pencerap**. Tunjukkan kesemua jalan kira termasuk lakaran graf aliran isyarat.*

$$\frac{C(s)}{R(S)} = \frac{s + 2}{s^2 + 3s + 9}$$

(5.1)

(25 marks/markah)

- (b) Consider the system with the following differential equation:

Pertimbangkan sebuah sistem yang mempunyai persamaan keadaan berikut:

$$\ddot{y} + 7\dot{y} + 12y = \dot{u} + 2u$$

Synthesis the differential equation shown above in the parallel form in state space (find the state equation only).

Sintesiskan persamaan di atas dalam bentuk selari dalam ruang-keadaan (cari persamaan keadaan sahaja).

(25 marks/markah)

- (c) Derive the general expression for the transfer function of a system represented in state space.

Terbitkan ungkapan umum untuk fungsi pindah sistem yang diwakili dalam ruang keadaan.

(25 marks/markah)

- (d) Consider a dynamic system described with the following state space equations:
Pertimbangkan sebuah sistem dinamik yang mempunyai persamaan ruang keadaan berikut:

$$\begin{aligned}\dot{x} &= \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 3 & 1 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} u \\ y &= [0 \quad 1]x\end{aligned}\tag{5.2}$$

With knowing that the system is completely observable, design an observer such that the observer poles are located at $\{-2, -2\}$.

Dengan mengetahui bahawa sistem itu dapat dicerap sepenuhnya, rekakan sebuah pencerap supaya kutub-kutub tersebut diletakkan pada $\{-2, -2\}$.

(25 marks/markah)

6. (a) The transfer function of a system is described by
Rangkap pindah bagi sebuah sistem diwakilkan oleh

$$G(s) = \frac{1}{s^2}\tag{6.1}$$

Explain the stability of the system subject to a non-zero initial state.

Terangkan kestabilan sistem tersebut tertakluk kepada keadaan awal bukan sifar.

(10 marks/markah)

- (b) Find the state-space matrices A, B, C, D of the system $G(s)$.
Carikan matriks ruang keadaan A, B, C, D bagi sistem $G(s)$.

(10 marks/markah)

- (c) The initial state of the system is given by $x_1(0) = 1$ and $x_2(0) = 1$. A state feedback control is designed as

Keadaan awal sistem tersebut ialah $x_1(0) = 1$ dan $x_2(0) = 1$. Sebuah pengawal suap balik keadaan direka seperti

$$u = -(x_1 + kx_2) \quad (6.2)$$

Find the controller gain k using optimal control with the performance index

Carikan gandaan pengawal k dengan menggunakan kawalan optimum dengan indeks prestasi

$$J = \int_0^{\infty} (x_1^2 + x_2^2) dt \quad (6.3)$$

(55 marks/markah)

- (d) Based on your answer in (c), select the positive controller gain k and calculate the corresponding damping ratio, ζ , of the closed-loop system.

Berdasarkan jawapan anda di (c), pilih gandaan pengawal k yang positive dan kirakan nisbah redaman, ζ , untuk sistem gelung tertutup tersebut.

(25 marks/markah)

oooOooo

APPENDIX A

LAMPIRAN A

Course Outcomes (CO) – Programme Outcomes (PO) Mapping
Pemetaan Hasil Pembelajaran Kursus – Hasil Program

Questions <i>Soalan</i>	CO	PO
1	3	3
2	2	3
3	2	3
4	3	3
5	3	3
6	3	3