



Second Semester Examination
2017/2018 Academic Session

May/June 2018

**EEE 354 – DIGITAL CONTROL SYSTEMS
(SISTEM-SISTEM KAWALAN DIGITAL)**

Duration : 3 hours
(Masa : 3 jam)

Please ensure that this examination paper consists of ELEVEN (11) pages and THREE (3) pages of printed appendices material before you begin the examination.

[Sila pastikan bahawa kertas peperiksaan ini mengandungi SEBELAS (11) muka surat dan TIGA (3) muka surat lampiran yang bercetak sebelum anda memulakan peperiksaan ini.]

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

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

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

[Sekiranya terdapat sebarang percanggahan pada soalan peperiksaan, versi Bahasa Inggeris hendaklah digunapakai.]

1. (a) To reconstruct the original signal from a sampled signal, there is a certain minimum frequency that the sampling operation must satisfy. Such a minimum frequency is specified in the sampling theorem. State and explain the sampling theorem.

Untuk membina semula isyarat asal daripada isyarat tersampel, terdapat frekuensi minima tertentu yang perlu dipenuhi oleh operasi pensampelan. Frekuensi minimum tersebut ditentukan dalam teorem pensampelan. Nyatakan dan terangkan teorem pensampelan tersebut.

(20 marks/markah)

- (b) Describe 2 limitations or problems that may arise if the sampling theorem is not satisfied. Include any sketches, if necessary.

Perihalkan 2 had atau masalah yang mungkin timbul sekiranya teorem pensampelan tidak dipenuhi. Masukkan sebarang lakaran, jika perlu.

(30 marks/markah)

- (c) Sketch and briefly explain the schematic diagram of a basic digital control system.

Lakarkan dan terangkan dengan ringkas gambarajah skematik bagi sistem kawalan digit asas.

(30 marks/markah)

- (d) Explain four advantages of digital control systems.
Terangkan empat kelebihan sistem kawalan digit.

(20 marks/markah)

2. (a) By stating any assumptions made, obtain the inverse ztransform of the following $F(z)$:-

Dengan menyatakan sebarang andaian yang dibuat, dapatkan jelmaan songsang z bagi $F(z)$ berikut:-

$$(i) \quad F(z) = \frac{z(z+2)}{(z-1)^2}$$

$$(ii) \quad F(z) = \frac{z^2}{(z-1)(z-0.2)}$$

$$(iii) \quad F(z) = \frac{2+z^{-2}}{(1-2z^{-1})^2(1-z^{-1})}$$

(45 marks/markah)

- (b) A system is described by the following difference equation.

Suatu sistem diperihalkan dengan persamaan kebezaan berikut.

$$y(k) - y(k-1) + 0.24y(k-2) = x(k) + x(k-1)$$

$$y(-2) = y(-1) = 0$$

- (i) By stating all assumptions, solve the given difference equation above and find $y(k)$ for $k = 0, 1, 2, 3, \dots$.

Dengan menyatakan semua andaian, selesaikan persamaan kebezaan di atas dan carikan $y(k)$ untuk $k = 0, 1, 2, 3, \dots$.

(35 marks/markah)

- (ii) Will the final value theorem give the correct value of $y(k)$ as $k \rightarrow \infty$?

Adakah teorem nilai akhir akan memberikan nilai yang betul utk $y(k)$ bagi $k \rightarrow \infty$?

(20 marks/markah)

...4/-

SULIT

3. (a) An open loop system is shown in Figure 3 (a). By stating any assumptions made, derive the transfer function, $\frac{Y(z)}{X(z)}$ of the discrete-time system, if,

Suatu sistem gelung terbuka ditunjukkan dalam Rajah 3 (a). Dengan menyatakan sebaran andaian yang dibuat, terbitkan rangkap pindah $\frac{Y(z)}{X(z)}$ bagi sistem diskret-masa tersebut, jika,

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

$$D(z) = 2$$

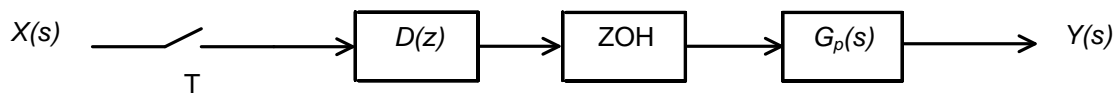


Figure 3 (a)

Rajah 3 (a)

(30 marks/markah)

- (b) Obtain the new transfer function of the system if a delay element is added into the system as shown in Figure 3 (b),

Dapatkan rangkap pindah yang baharu bagi sistem jika suatu elemen lengah ditambah ke dalam sistem seperti ditunjukkan dalam Rajah 3 (b),

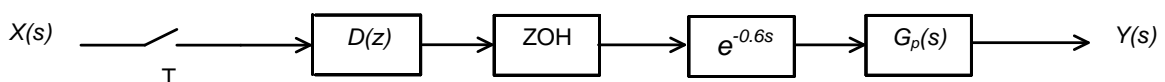


Figure 3 (b)

Rajah 3 (b)

(20marks/markah)

...5/-

SULIT

- (c) Given a closed-loop digital control system with the following open-loop transfer function:

Diberi adalah sebuah sistem kawalan digit gelung tertutup yang mempunyai fungsi pindah gelung-buka seperti berikut:

$$Z[G_{Zoh}(s)G(s)] = G(z) = \frac{0.00484z + 0.00468}{(z-1)(z-0.905)}$$

Assume the sampling time is $T=1$ s and the system has unity feedback gain.

Andaikan masa sampelan $T=1$ s dan sistem mempunyai gandaan suapbalik uniti.

- (i) Determine the range of gain K for stability by the use of Jury stability test.

Tentukan julat bagi gandaan K untuk kestabilan dengan menggunakan ujian kestabilan Jury.

(35 marks/markah)

- (ii) Find the frequency of the sustained oscillation (during critically stable).

Carikan frekuensi bagi ayunan terkekal (ketika stabil berjidar).

(15 marks/markah)

4. Consider the satellite system shown in Figure 4 (a) where its control system is as shown in Figure 4 (b). For this problem, the sampling time is $T=0.1$ s, inertia $J=0.1$, sensor gain $H_k=0.02$, $D(z)=1$. It is given that

$$G(z) = Z\left[\frac{1-e^{-sT}}{s} \frac{10}{s^2}\right] = \frac{0.05(z+1)}{(z-1)^2}.$$

...6/-

SULIT

Pertimbangkan sebuah sistem satelit seperti yang dipamerkan dalam Rajah 4 (a) dimana sistem kawalan seperti yang terpapar di Rajah 4 (b). Untuk permasalahan ini, masa sampelan ialah $T=0.1$ s, inertia $J=0.1$, gandaan penderia $H_k = 0.02$ dan $D(z)=1$. Telah diberi bahawa $G(z) = Z \left[\frac{1 - e^{-sT}}{s} \frac{10}{s^2} \right] = \frac{0.05(z+1)}{(z-1)^2}$.

$$G(z) = Z \left[\frac{1 - e^{-sT}}{s} \frac{10}{s^2} \right] = \frac{0.05(z+1)}{(z-1)^2}$$

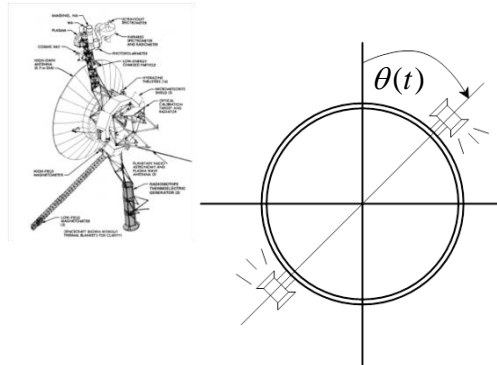


Figure 4 (a) Satellite and its free body diagram
 Rajah 4 (a) Satelit dan gambarajah jasad bebas

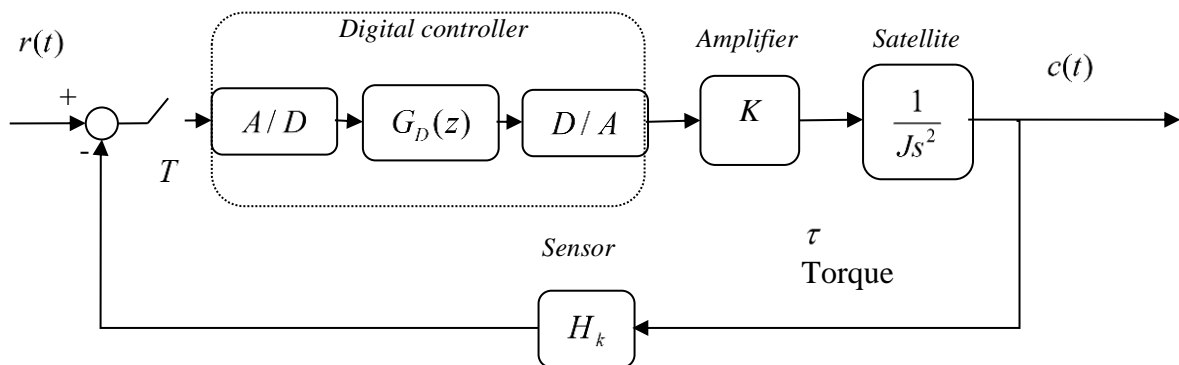


Figure 4 (b) Satellite digital control system
 Rajah 4 (b) Sistem kawalan satelit digital

(a) Investigate the system by deriving a closed-loop characteristic equation.

Kaji sistem di atas dengan menerbitkan persamaan ciri gelung tutup.

(10marks/markah)

...7/-

SULIT

- (b) Analyse the digital system $G(z)$ by employing frequency-domain analysis to determine the followings:

(Note: If you use Nyquist plot, then show all the important points. If Bode plot is employed, asymptotic approximation approach is assumed).

Analisa sistem digit $G(z)$ dengan melaksanakan analisa ruang-frekuensi untuk menentukan perkara berikut:

(Nota: Sekiranya plot Nyquist digunakan, tunjukkan ke semua titik-titik penting. Sekiranya plot Bod dilaksanakan, guna kaedah penghampiran asimtot.)

- (i) Phase-cross over frequency

Frekuensi lintasan fasa

(5 marks/markah)

- (ii) Gain-cross over frequency

Frekuensi lintasan gandaan

(5 marks/markah)

- (iii) Gain-margin

Jidar gandaan

(10 marks/markah)

- (iv) Phase-margin

Jidar fasa

(10 marks/markah)

- (v) Frequency-domain plot (Bode plot/ Nyquist plot)

Plot ruang frekuensi (plot Bod/ plot Nyquist)

(30 marks/markah)

- (c) What can be deduced about the system stability?

Apakah yang boleh diterangkan mengenai kestabilan sistem?

(10 marks/markah)

...8/-

SULIT

- (d) Determine both the s-plane frequency and the w-plane frequency at which the system will oscillate when marginally stable.

Tentukan kedua-dua frekuensi satah-s dan satah-w apabila sistem berayun pada ketika stabil berjidar.

(20 marks/markah)

5. Consider the robot arm (Figure 5 (a)) with its corresponding joint control system represented in block diagram as in Figure 5 (b). It is assumed that only the last link of the robot arm is to be controlled (Figure 5 (a)). Given $T=0.1s$ dan $D(z)=1$ $E_a(s)$ is the servomotor input voltage. $\theta_m(s)$ is the motor shaft angle, and the output $\theta_a(s)$ is the angle of the arm. $\theta_c(s)$ is the analog command input. The inductance of the armature of servomotor has been neglected such that the servomotor transfer function is second order.

Pertimbangkan sebuah lengan robot (Rajah 5 (a)) dengan sistem kawalan seperti di Rajah 5 (b). Diandaikan lengan robot yang terakhir sahaja yang perlu dikawal (Rajah 5 (a)). Diberi $T=0.1s$ dan $D(z)=1$. $E_a(s)$ adalah voltan masukan bagi motor servo. $\theta_m(s)$ adalah sudut acu motor dan keluaran $\theta_a(s)$ adalah sudut lengan robot. $\theta_c(s)$ adalah masukan perintah analog. Nilai aruhan armatur motor servo telah diabaikan supaya rangkap pindah motor servo adalah tertib kedua.

...9/-

SULIT

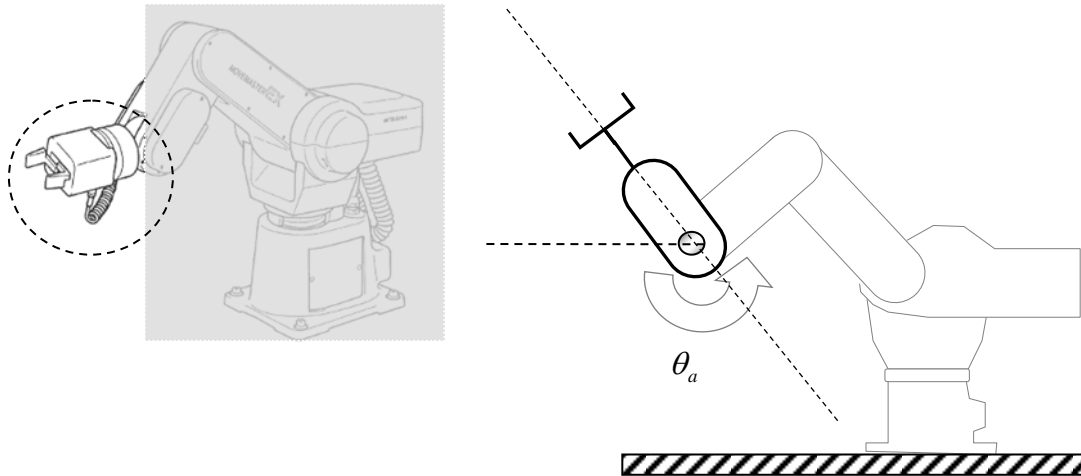


Figure 5 (a) An industrial robot arm with one of the link to be controlled

Rajah 5 (a) Sebuah lengan robot industri dengan salah satu lengan yang akan dikawal.

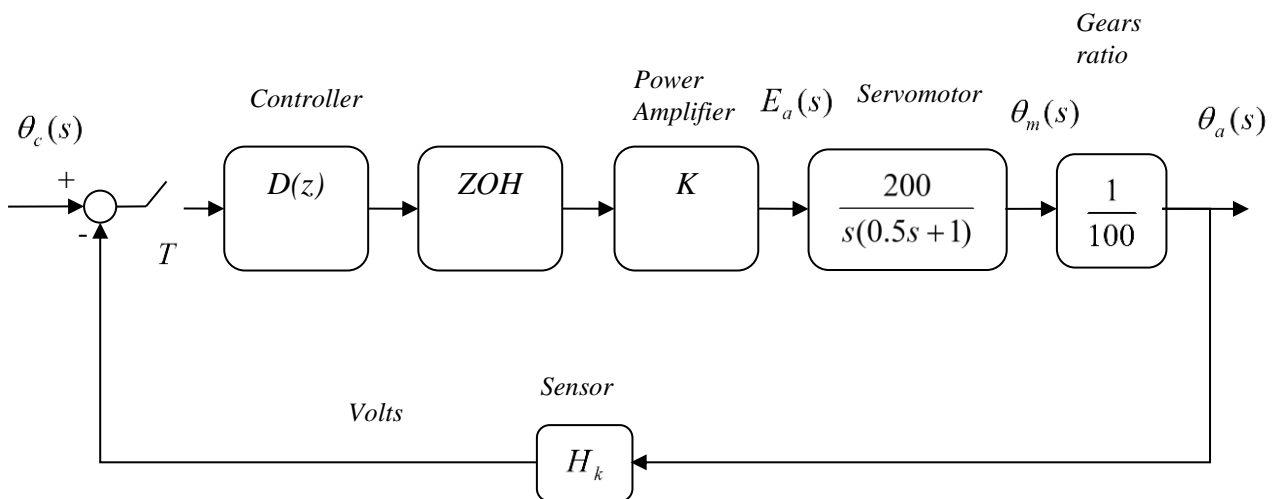


Figure 5 (b) Digital Control System of the controlled robot link

Rajah 5 (b) Sistem Kawalan Digit bagi lengan robot yang dikawal

- (a) The sensor input θ_a is in degrees ($^\circ$) and the sensor gives a reading output in voltage (V). The transfer function of the sensor is $H_k = 0.07$. If the robot joint movement is mechanically restricted to $\pm 135^\circ$, find the following:

Masukan penderia θ_a adalah dalam unit darjah ($^\circ$) dan penderia tersebut memberi bacaan keluaran dalam voltan (V). Rangkap pindah bagi penderia tersebut adalah $H_k = 0.07$. Sekiranya pergerakan sendi robot itu dihadkan secara mekanikal kepada julat $\pm 135^\circ$, carikan yang berikut:

- (i) The range of the sensor output voltage.

Julat bagi voltan keluaran penderia.

(5 marks/markah)

- (i) The input voltage range for the analogue-to-digital converter (ADC)?

Julat voltan masukan untuk pengubah analog-ke-digital.

(5 marks/markah)

- (b) Let $G_p(s)$ be the transfer function of the servomotor and gears, and $H_k = 0.07$ be the sensor gain. Investigate the closed-loop discrete system by

Andaikan $G_p(s)$ adalah rangkap pindah bagi motor servo dan gear, dan $H_k = 0.07$ adalah nilai gandaan penderia. Kaji sistem diskret gelung-tertutup dengan

- (i) deriving the transfer function $T(z) = \frac{\theta_a}{\theta_c}$ for the system.

menerbitkan rangkap pindah $T(z) = \frac{\theta_a}{\theta_c}$ untuk sistem tersebut.

(50 marks/markah)

...11/-

SULIT

- (ii) analyzing the unit-step response of the system by expressing $\theta_a(k)$ as a function of $\theta_c(k)$, as a single difference equation for the system with controller $D(z) = 1$, amplifier $K = 2.4$ and the sampling time $T = 0.1$ s.

menganalisa sambutan unit-langkah sistem dengan menyatakan $\theta_a(k)$ sebagai fungsi $\theta_c(k)$, sebagai persamaan pembeza tunggal untuk sistem yang mempunyai pengawal $D(z) = 1$, penguat $K = 2.4$ dan masa pensampelan $T = 0.1$ s.

(25 marks/markah)

- (iii) employing a *Theorem* you have learnt to obtain the steady-state value of the unit-step response obtained in (ii).

menggunakan Teorem yang telah anda pelajari bagi mendapatkan nilai keadaan mantap bagi sambutan unit-langkah yang telah diperolehi di (ii).

(15 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	1	2
2	1	4
3	2	2
4	2	4
5	3	4