
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Peperiksaan Semester Kedua

Sidang Akademik 2006/2007

April 2007

EEE 354 – SISTEM KAWALAN DIGIT

Masa : 3 Jam

Sila pastikan kertas peperiksaan ini mengandungi **SEPULUH (10)** muka surat beserta **Lampiran 2 muka surat** bercetak dan **ENAM (6)** soalan sebelum anda memulakan peperiksaan ini.

Jawab **LIMA (5)** soalan.

Soalan ini mengandungi **Bahagian A** dan **Bahagian B**.

Gunakan dua buku jawapan yang diberikan supaya jawapan-jawapan bagi soalan-soalan **Bahagian A** adalah di dalam satu buku jawapan dan bagi **Bahagian B** di dalam buku jawapan yang lain.

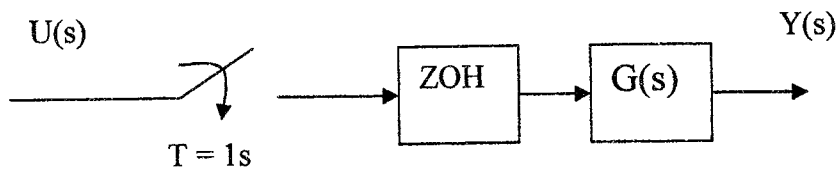
Agihan markah diberikan di sudut sebelah kanan soalan berkenaan.

Semua soalan hendaklah dijawab di dalam Bahasa Malaysia.

**BAHAGIAN A
PART A**

1. Suatu sistem kawalan gelung terbuka boleh diwakili oleh gambarajah berikut:

An open-loop control system can be represented by the following diagram:



Rajah 1
Figure 1

Diberi

Given

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

- (a) Tentukan fungsi pindah dedenyut kepada sistem tersebut dalam domain z $Y(z)/U(z)$ untuk $T=1s$.

Determine the pulse transfer function of the system in z-domain $Y(z)/U(z)$ for $T=1s$.

(20%)

- (b) Tentukan sambutan sistem tersebut pada kala pensampelan bagi:

Determine the system response at the sampling interval for:

- (i) Masukkan unit langkah

Unit step input

(25%)

- (ii) Masukkan unit rampa

Unit ramp input

(30%)

...3/-

- (c) Apakah sambutan sistem tersebut pada $kT=10s$, untuk kes (b) (i)?

What is the system response at $kT=10s$, for case (b) (i)?

(5%)

- (d) Ulangi (a) menggunakan jelmaan-z terubahsuai jika,

Repeat (a) using modified z-transform if,

$$G(s) = \frac{3e^{-0.7s}}{(s+1)(s+2)}$$

(20%)

2. Persamaan kebezaan untuk suatu sistem kawalan diberikan seperti di bawah.

The difference equation for a discrete control system is given below.

$$y(k) = 6y(k-1) - 9y(k-2) + u(k)$$

$$u(k) = \begin{cases} 1, & k \geq 0 \\ 0, & k \leq 0 \end{cases}$$

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

- (a) Selesaikan persamaan kebezaan yang diberi dengan menggunakan:

Solve the given difference equation for $y(k)$ using:

- (i) Teknik Jujukan.
The sequential technique.

- (ii) Jelmaan z.
The z-transform.

(45%)

... 4/-

- (b) Dengan merujuk kepada persamaan kebezaan yang diberi di bawah, bina model pembolehubah-ruang dengan menggunakan teknik jelmaan-z dan pengembangan pecahan separa. Rajah penyelakuan yang sesuai mesti digunakan untuk mendapatkan persamaan ruang bagi model yang dibina.

By referring to the difference equation given below, construct state variable models using the z-transform techniques and partial fraction. Relevant simulation diagrams or signal flow graphs should be used to acquire the state equations for models.

$$y(k+2)-0.8y(k+1)+0.25y(k)=u(k)$$

(55%)

3. Rajah 2 mewakili gambarajah blok untuk suatu sistem kawalan digit yang dikawal oleh sebuah komputer.

Figure 2 represents the block diagram for a digital control system which is controlled by a computer.

- (a) Lukiskan ESFG bagi sistem tersebut dan labelkan sepenuhnya.

Draw ESFG for the system and label it completely.

(10%)

- (b) Dapatkan rangkap pindah sistem tersebut dalam sebutan $C(z)/R(z)$. Anda perlu menunjukkan jalan penyelesaian anda iaitu bermula daripada ESFG, SSFG dan kemudian menggunakan formula untung Mason dalam terbitan anda.

Obtain the system transfer function in $C(z)/R(z)$. You are required to show all steps, starting from ESFG, SSFG and then, using the Mason's gain formula in your expression.

(60%)

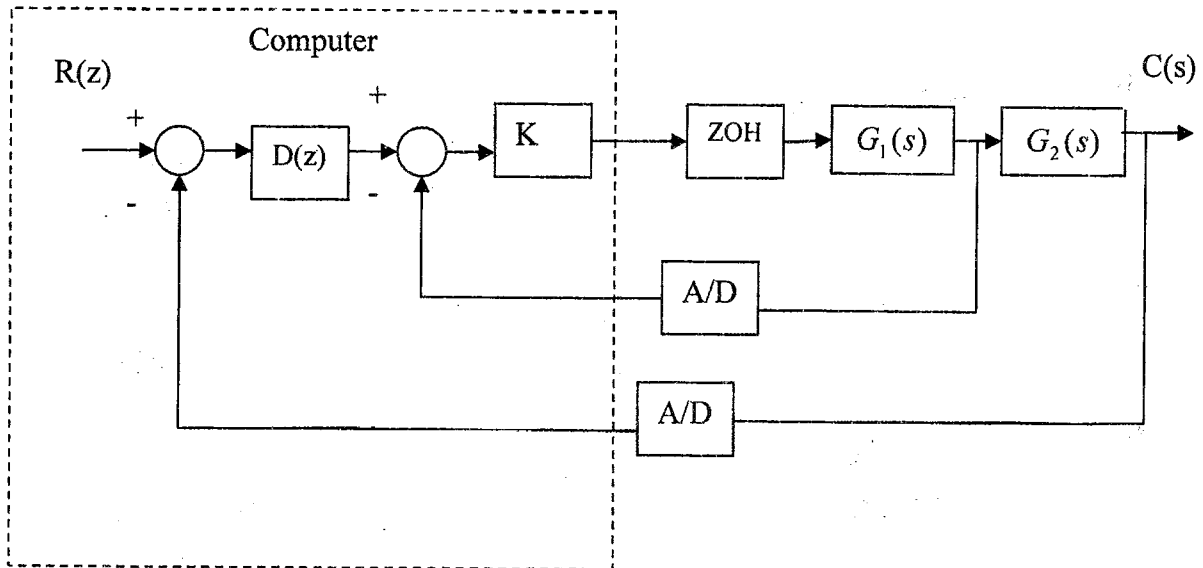
- (c) Jika rangkap pindah blok-blok tersebut adalah seperti berikut,
 If the transfer functions of the blocks are as follows,

$$D(z) = \frac{z}{z-1} \quad G_1(s) = \frac{2}{s+1} \quad G_2(s) = \frac{5}{5s+10}$$

Tentukan rangkap pindah sebenar sistem tersebut berdasarkan rangkap pindah yang didapati dalam bahagian (a). Andaikan $T = 1$ s.

Determine the actual transfer function of the system based on the transfer function obtained in part (a). Assume $T = 1$ s.

(30%)



Rajah 2
 Figure 2

BAHAGIAN B
PART B

4. Pertimbangkan sistem dalam Rajah 3 dengan $T = 1s$. Biarkan pengawal digital tersebut berpembolehubah untung K dengan $D(z) = K$, $G_p(s) = \frac{1}{(s+1)}$.

Consider the system in Figure 3 with $T = 1s$. Let the digital controller be a variable gain K such that $D(z) = K$, $G_p(s) = \frac{1}{(s+1)}$.

- (a) Tuliskan persamaan ciri litar tertutup sistem tersebut.
Write the closed loop system characteristic equation.
- (b) Cari julat K bagi sistem yang stabil dengan mengambilkira puncanya.
Find the range of K for which the system is stable by considering the root itself.
- (c) Dengan menggunakan ujian Routh-Hurwitz, cari julat K untuk kestabilan.
Use the Routh-Hurwitz test to find the range of K for stability.
- (d) Cari punca persamaan ciri dalam satah- z bagi nilai $K > 0$ dimana sistem berkestabilan jidar.
Find the root of the characteristic equation in the z -plane for the value of $K > 0$ for which the system is marginally stable.
- (e) Cari frekuensi dimana sistem akan berayun pada kestabilan jidar, bagi $K > 0$.
Find the frequency at which the system will oscillate when marginally stable, for $K > 0$.

- (f) Pertimbangkan apabila pensampel dikeluarkan daripada sistem dan $G_p(s) = \frac{K}{(s+1)}$. Cari julat bagi K apabila sistem analog tersebut adalah stabil.

Consider the system with all sampling removed and with $G_p(s) = \frac{K}{(s+1)}$.

Find the range of K for which the analog system is stable.

- (g) Bandingkan (b) dan (f), berikan kesan terhadap kestabilan apabila terdapat pensampelan.

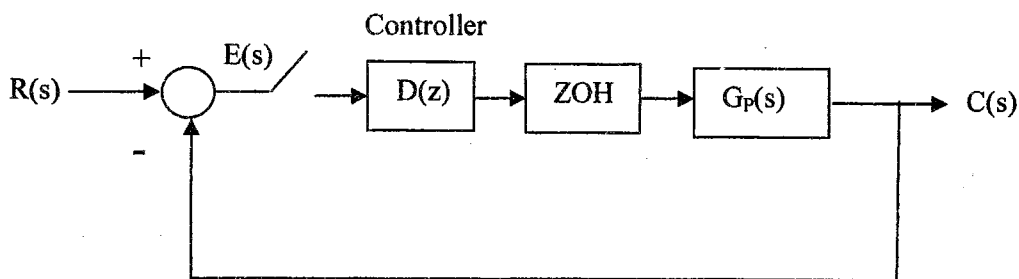
Comparing (b) and (f), give the effects on stability of adding sampling.

- (h) Sekarang biarkan $T = 0.1s$. Cari julat K bagi sistem apabila stabil.

Now let $T = 0.1s$. Find the range of K for which the system is stable.

- (i) Dengan membandingkan julat bagi K dari (b), (h) dan (f), berikan kesan terhadap kestabilan apabila kala pensampelan T dikurangkan.

Comparing the ranges of K from (b), (h) and (f), give the effects on stability of reducing the sample period T.



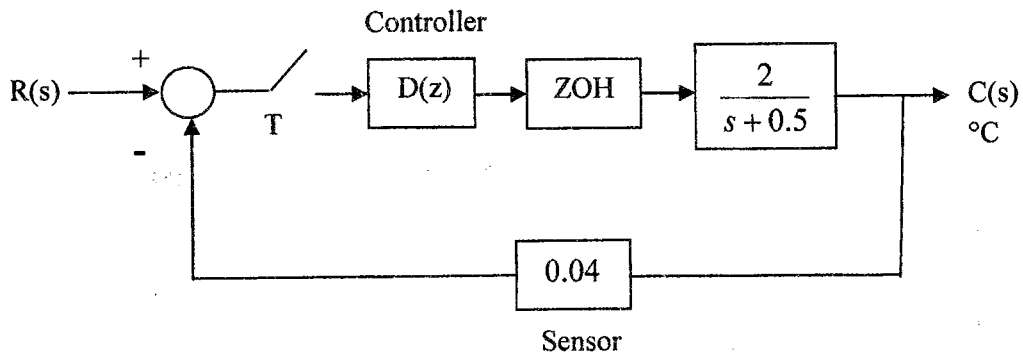
Rajah 3
Figure 3

(100%)

...8/-

5. Bagi sistem kawalan suhu di Rajah 4, $D(z) = 1$ dan $T = 0.6s$.
For the temperature control system shown in Figure 4, $D(z) = 1$ and $T = 0.6s$.

- (a) Lakarkan rajah Bode. Tunjukkan untung jidar pada rajah tersebut.
Sketch the Bode diagram. Indicate the gain margin on the diagram.
- (b) Adakah sistem tersebut stabil?
Is the system stable?
- (c) Apakah untung jidarnya?
What is the gain margin?
- (d) Berdasarkan jawapan anda dalam (c), apakah nilai K jika sistem berkestabilan jidar?
Based on your answer in (c), what is the value of K for which the system is marginally stable?
- (e) Carikan frekuensi di mana sistem berkestabilan jidar tersebut akan berayun?
Find the frequency at which the marginally stable system will oscillate.



Rajah 4
Figure 4

(100%)

6. Pertimbangkan sistem dalam Rajah 3. Biarkan $T=1s$, $D(z)=1$ dan $G_p(s) = \frac{1}{s(s+1)}$. Sambutan frekuensi sistem tersebut ditunjukkan dalam Jadual 1.

Consider the system in Figure 3. Let $T = 1s$, $D(z) = 1$ and $G_p(s) = \frac{1}{s(s+1)}$. The frequency response of the system is shown in Table 1.

Jadual 1 Sambutan Frekuensi
Table 1 Frequency Response

ω_w	ω	$ G(j\omega_w) $	$ G(j\omega_w) _{dB}$	$\angle G(j\omega_w)$
0.1	0.099	9.95473	19.96	-98.56
0.2	0.199	4.91192	13.82	-106.98
0.3	0.297	3.20693	10.12	-115.10
0.4	0.394	2.34103	7.38	-122.83
0.5	0.490	1.81474	5.17	-130.10
0.6	0.582	1.46124	3.29	-136.87
0.7	0.673	1.20853	1.64	-143.14
0.8	0.761	1.02011	0.17	-148.92
0.9	0.845	0.87530	-1.15	-154.24
1.0	0.927	0.76140	-2.36	-159.13
2.0	1.570	0.30058	-10.44	-190.88
3.0	1.965	0.18220	-14.78	-205.37
4.0	2.214	0.13244	-17.55	-212.26
5.0	2.380	0.10579	-19.51	-215.43
6.0	2.498	0.08942	-20.97	-216.61
7.0	2.585	0.07848	-22.10	-216.68
8.0	2.651	0.07073	-23.00	-216.11
9.0	2.704	0.06502	-23.73	-215.18
10.0	2.746	0.06068	-24.33	-214.06
20.0	2.942	0.04455	-27.02	-203.02
30.0	3.008	0.04097	-27.75	-196.54
40.0	3.041	0.03964	-28.03	-192.77

- (a) Anggarkan nilai untung fasa dan untung jidar.
Estimate the phase margin and gain margin.

- (b) Biarkan $D(z) = K$. Cari K supaya untung fasa sistem adalah 45 darjah.
Let $D(z) = K$. Find K such that the system phase margin is 45 degrees.
- (c) Rekabentuk kompensator fasa duluan unit untung yang akan menghasilkan jidar fasa 45 darjah.
Design a unity-dc-gain phase-lead compensator that yields a phase margin of approximately 45 degrees.
- (d) Rekabentuk pengawal PI untuk menghasilkan jidar fasa 45 darjah.
Design a PI controller to produce a phase margin of 45 degrees.

(100%)

Table of z Transforms

	$X(s)$	$x(t)$	$x(kT)$ or $x(k)$	$X(z)$
1.	—	—	Kronecker delta $\delta_0(k)$ 1, $k = 0$ 0, $k \neq 0$	1
2.	—	—	$\delta_0(n - k)$ 1, $n = k$ 0, $n \neq k$	z^{-k}
3.	$\frac{1}{s}$	$1(t)$	$1(k)$	$\frac{1}{1 - z^{-1}}$
4.	$\frac{1}{s + a}$	e^{-at}	e^{-akT}	$\frac{1}{1 - e^{-aT}z^{-1}}$
5.	$\frac{1}{s^2}$	t	kT	$\frac{Tz^{-1}}{(1 - z^{-1})^2}$
6.	$\frac{2}{s^3}$	t^2	$(kT)^2$	$\frac{T^2z^{-1}(1 + z^{-1})}{(1 - z^{-1})^3}$
7.	$\frac{6}{s^4}$	t^3	$(kT)^3$	$\frac{T^3z^{-1}(1 + 4z^{-1} + z^{-2})}{(1 - z^{-1})^4}$
8.	$\frac{a}{s(s + a)}$	$1 - e^{-at}$	$1 - e^{-akT}$	$\frac{(1 - e^{-aT})z^{-1}}{(1 - z^{-1})(1 - e^{-aT}z^{-1})}$
9.	$\frac{b - a}{(s + a)(s + b)}$	$e^{-at} - e^{-bt}$	$e^{-akT} - e^{-bkT}$	$\frac{(e^{-aT} - e^{-bT})z^{-1}}{(1 - e^{-aT}z^{-1})(1 - e^{-bT}z^{-1})}$
10.	$\frac{1}{(s + a)^2}$	te^{-at}	kTe^{-akT}	$\frac{Te^{-aT}z^{-1}}{(1 - e^{-aT}z^{-1})^2}$
11.	$\frac{s}{(s + a)^2}$	$(1 - at)e^{-at}$	$(1 - akT)e^{-akT}$	$\frac{1 - (1 + aT)e^{-aT}z^{-1}}{(1 - e^{-aT}z^{-1})^2}$

	$X(s)$	$x(t)$	$x(kT)$ or $x(k)$	$X(z)$
12.	$\frac{2}{(s+a)^3}$	$t^2 e^{-at}$	$(kT)^2 e^{-akT}$	$\frac{T^2 e^{-\sigma T} (1 + e^{-\sigma T} z^{-1}) z^{-1}}{(1 - e^{-\sigma T} z^{-1})^3}$
13.	$\frac{a^2}{s^2(s+a)}$	$at - 1 + e^{-at}$	$akT - 1 + e^{-akT}$	$\frac{[(aT - 1 + e^{-\sigma T}) + (1 - e^{-\sigma T} - aTe^{-\sigma T})z^{-1}]z^{-1}}{(1 - z^{-1})^2(1 - e^{-\sigma T} z^{-1})}$
14.	$\frac{\omega}{s^2 + \omega^2}$	$\sin \omega t$	$\sin \omega kT$	$\frac{z^{-1} \sin \omega T}{1 - 2z^{-1} \cos \omega T + z^{-2}}$
15.	$\frac{s}{s^2 + \omega^2}$	$\cos \omega t$	$\cos \omega kT$	$\frac{1 - z^{-1} \cos \omega T}{1 - 2z^{-1} \cos \omega T + z^{-2}}$
16.	$\frac{\omega}{(s+a)^2 + \omega^2}$	$e^{-at} \sin \omega t$	$e^{-akT} \sin \omega kT$	$\frac{e^{-\sigma T} z^{-1} \sin \omega T}{1 - 2e^{-\sigma T} z^{-1} \cos \omega T + e^{-2\sigma T} z^{-2}}$
17.	$\frac{s+a}{(s+a)^2 + \omega^2}$	$e^{-at} \cos \omega t$	$e^{-akT} \cos \omega kT$	$\frac{1 - e^{-\sigma T} z^{-1} \cos \omega T}{1 - 2e^{-\sigma T} z^{-1} \cos \omega T + e^{-2\sigma T} z^{-2}}$
18.			a^k	$\frac{1}{1 - az^{-1}}$
19.			a^{k-1} $k = 1, 2, 3, \dots$	$\frac{z^{-1}}{1 - az^{-1}}$
20.			ka^{k-1}	$\frac{z^{-1}}{(1 - az^{-1})^2}$
21.			$k^2 a^{k-1}$	$\frac{z^{-1}(1 + az^{-1})}{(1 - az^{-1})^3}$
22.			$k^3 a^{k-1}$	$\frac{z^{-1}(1 + 4az^{-1} + a^2 z^{-2})}{(1 - az^{-1})^4}$
23.			$k^4 a^{k-1}$	$\frac{z^{-1}(1 + 11az^{-1} + 11a^2 z^{-2} + a^3 z^{-3})}{(1 - az^{-1})^5}$
24.			$a^k \cos k\pi$	$\frac{1}{1 + az^{-1}}$
25.			$\frac{k(k-1)}{2!}$	$\frac{z^{-2}}{(1 - z^{-1})^3}$
26.			$\frac{k(k-1)\dots(k-m+2)}{(m-1)!}$	$\frac{z^{-m+1}}{(1 - z^{-1})^m}$
27.			$\frac{k(k-1)}{2!} a^{k-2}$	$\frac{z^{-2}}{(1 - az^{-1})^3}$
28.			$\frac{k(k-1)\dots(k-m+2)}{(m-1)!} a^{k-m+1}$	$\frac{z^{-m+1}}{(1 - az^{-1})^m}$