
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Second Semester Examination
2013/2014 Academic Session

June 2014

EMC 322 – Automatic Control
[Kawalan Automatik]

Duration : 3 hours
Masa : 3 jam

Please check that this paper contains **NINE** printed pages, **ONE** page appendix and **SIX** questions before you begin the examination.

*[Sila pastikan bahawa kertas soalan ini mengandungi **SEMBILAN** mukasurat bercetak, **SATU** mukasurat lampiran dan **ENAM** soalan sebelum anda memulakan peperiksaan.]*

Appendix/Lampiran :

1. CNC Wire-cut machine response plot [1 page/mukasurat]

INSTRUCTIONS: Answer **FIVE (5)** questions.

[ARAHAN : Jawab **LIMA (5)** soalan.]

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.

[Jawapan untuk setiap soalan mestilah dimulakan pada mukasurat 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.]

- Q1. [a] Power amplifier is non-linear and can be approximately represented by an equation $v_2 = 2e^{3v_1}$, where v_1 is the input voltage and v_2 is the output voltage. Obtain a linearized model for the power amplifier at a normal operating point $v_{1_0} = 1.5 V$.**

Penguatkuasa adalah tak-lurus dan boleh diwakili lebih kurang oleh satu persamaan $v_2 = 2e^{3v_1}$, di mana v_1 adalah voltan masukannya dan v_2 adalah voltan keluarannya. Dapatkan satu model lurus bagi penguatkuasa tersebut pada satu titik operasi normal $v_{1_0} = 1.5 V$.

(20 marks/markah)

- [b] Two masses are hanged with two springs and a damper as illustrated in Figure Q1[b]. An input force $f(t)$ is applied downward on mass M_2 . Determine the transfer function $Y(s)/F(s)$. Given the Laplace transform $f^{(k)}(t) = \frac{d^k f(t)}{dt^k}$ is $F(s) = s^k F(s) - s^{k-1} f(0^-) - s^{k-2} f^{(1)}(0^-) - \dots - s^0 f^{(k-1)}(0^-)$. Assume all initial conditions are zero.**

Dua jisim digantung dengan dua pegas dan satu peredam seperti ditunjukkan dalam Rajah S1[b]. Satu daya masukan $f(t)$ dikenakan ke atas jisim M_2 menghala bawah. Tentukan rangkap pindahnya $Y(s)/F(s)$. Diberi penjelmaan Laplace $f^{(k)}(t) = \frac{d^k f(t)}{dt^k}$ adalah $F(s) = s^k F(s) - s^{k-1} f(0^-) - s^{k-2} f^{(1)}(0^-) - \dots - s^0 f^{(k-1)}(0^-)$. Anggap semua keadaan awal adalah sifar.

$f^{(k)}(t) = \frac{d^k f(t)}{dt^k}$ adalah $F(s) = s^k F(s) - s^{k-1} f(0^-) - s^{k-2} f^{(1)}(0^-) - \dots - s^0 f^{(k-1)}(0^-)$. Anggap semua keadaan awal adalah sifar.

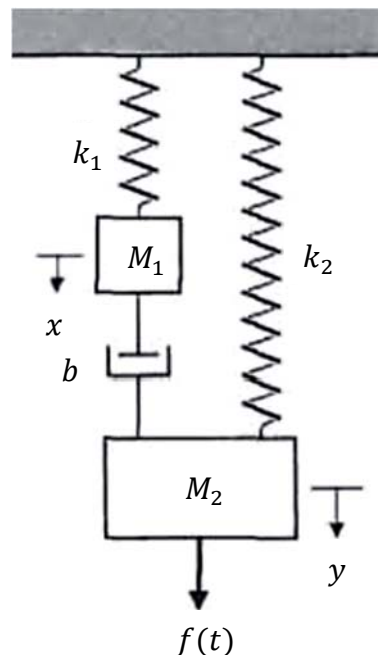


Figure Q1[b]
Rajah S1[b]

(40 marks/markah)

- [c] A feedback control system has a block diagram as shown in Figure Q1[c]. Determine the close loop transfer function $Y(s)/R(s)$ by using block diagram manipulation and the response $y(t)$ due to a unit step input $R(s) = 1/s$ by using partial fraction expansion. Given the inverse Laplace transform for $F(s) = 1/(s + a)$ is $f(t) = e^{-at}$.

Satu sistem kawalan suap-balik mempunyai satu rajah blok seperti ditunjukkan dalam Rajah S1[c]. Tentukan rangkap pindah gelung tertutupnya $Y(s)/R(s)$ dengan menggunakan pengolahan rajah blok dan sambutannya $y(t)$ akibat satu masukan pelangkah seunit $R(s) = 1/s$ dengan menggunakan pengembangan pecahan separa. Diberi penjelmaan Laplace songsang bagi $F(s) = 1/(s + a)$ adalah $f(t) = e^{-at}$.

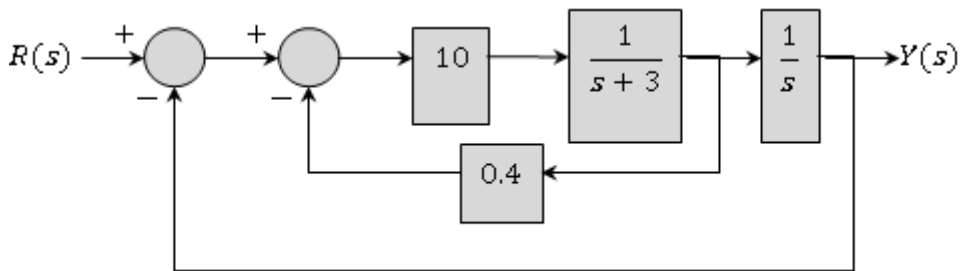


Figure Q1[c]
Rajah S1[c]

(40 marks/markah)

- Q2. A model of an automatic speed control system for a car is shown in Figure Q2. The engine and vehicle transfer function is represented by $G(s) = K/(20s + 1)$. The throttle controller transfer function is represented by $G_c(s) = 4/(10s + 1)$. The feedback is $H(s) = 3$.

Satu model bagi satu sistem kawalan automatik untuk sebuah kereta ditunjukkan dalam Rajah S2. Rangkap pindah enjin dan kenderaannya diwakili oleh $G(s) = K/(20s + 1)$. Rangkap pindah pengawal pendikitnya diwakili oleh $G_c(s) = 4/(10s + 1)$. Suap-baliknya adalah $H(s) = 3$.

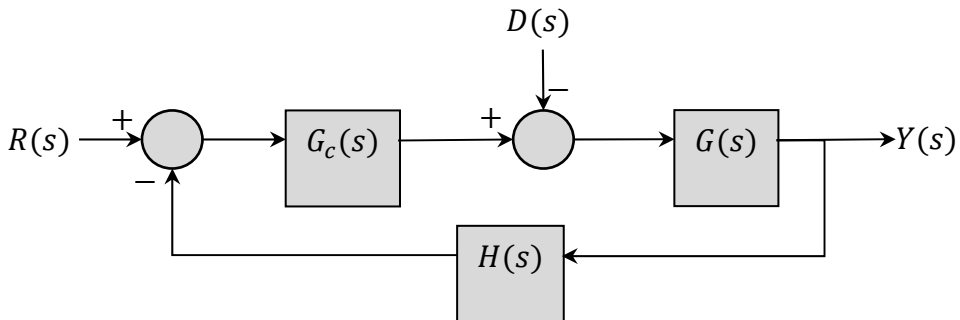


Figure Q2
Rajah S2

- [a] **Determine and comment on the effect of disturbance $D(s) = 1/s$ on the steady state response $y(\infty)$ when the car is climbing up hill and $K = 5$ (assume $R(s) = 0$).**

Tentukan dan komen tentang kesan gangguan $D(s) = 1/s$ ke atas sambutan keadaan mantap $y(\infty)$ bila kereta tersebut menaiki bukit dan $K = 5$ (anggap $R(s) = 0$).

(35 marks/markah)

- [b] **Determine and comment on the sensitivity of the system to the change in parameter K (assume $D(s) = 0$).**

Tentukan dan komen tentang kepekaan sistem terhadap perubahan parameter K (anggap $D(s) = 0$).

(35 marks/markah)

- [c] **Determine and comment on the steady state error when the input $R(s) = 1/s$ and $K = 8$ (assume $D(s) = 0$).**

Tentukan dan komen tentang ralat keadaan mantap bila masukan $R(s) = 1/s$ dan $K = 8$ (anggap $D(s) = 0$).

(30 marks/markah)

- Q3. [a] A position control system of a work table in a CNC wire-cut machine generates a response as shown in Figure Q3[a] when a unit step input is applied. Measure graphically from the response the percentage of overshoot, settling time (based on 2% criterion), steady state error, rise time and peak time. (Use similar CNC wire-cut machine response plot in APPENDIX to show your works and attach it to your answer script.)**

Satu sistem kawalan posisi sebuah meja kerja dalam sebuah mesin wayar-potong CNC menghasilkan sambutan seperti ditunjukkan dalam Rajah S3[a] apabila satu masukan pelangkah seunit dikenakan. Ukur dari graf sambutan tersebut peratusan lajukan, masa enapan (berdasarkan kriteria 2%), ralat keadaan mantap, masa meningkat dan masa memuncak. (Guna graf sambutan mesin wayar-potong CNC yang serupa dalam LAMPIRAN untuk menunjukkan jalan kerja kamu dan kepilkannya bersama skrip jawapan kamu.)

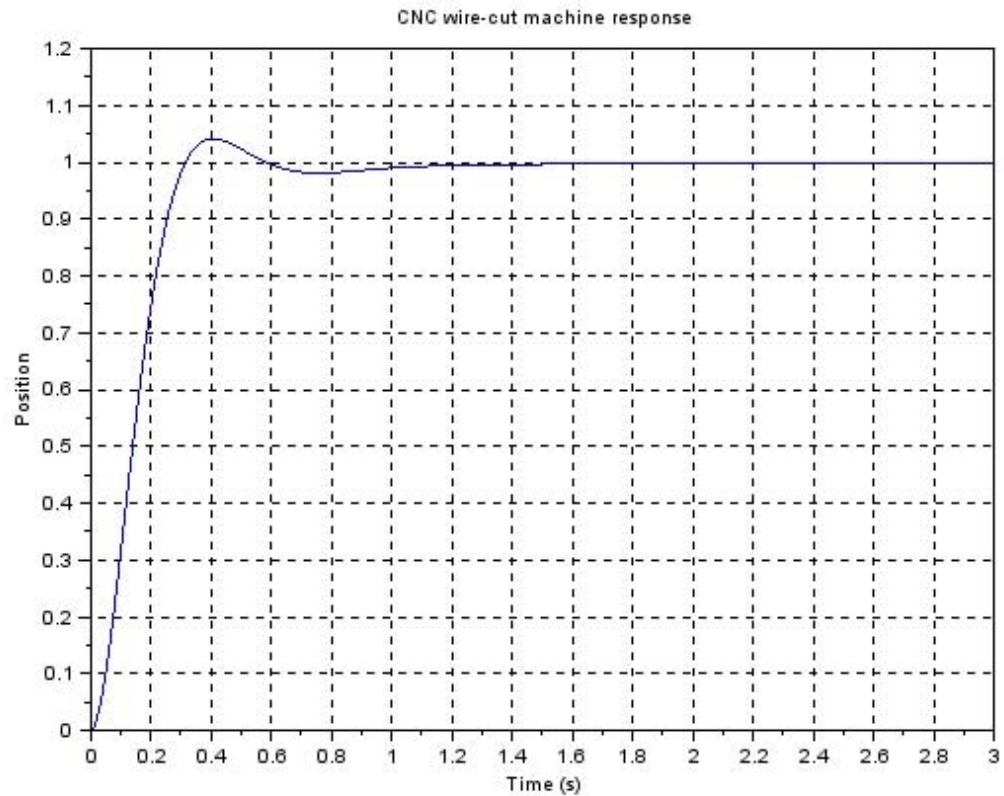


Figure Q3[a]

Rajah S3[a]

(30 marks/markah)

- [b] A control system for positioning the head of a laser printer has the closed loop transfer function $T(s) = \frac{5(s+20)}{(s+2)(s^2+10s+50)}$. Assuming the second order equation $(s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2)$ dominate, estimate the percentage of overshoot PO and settling time T_s (based on 2% criterion) for a unit step input. For a second order system, $PO = 100e^{-\pi\zeta/\sqrt{1-\zeta^2}}$ and $T_s = 4/(\zeta\omega_n)$ where ζ is the damping ratio and ω_n is the natural frequency. Show the poles and zero position of this system on s -plane and select the dominant root. Comment on the response based on the dominant root comparing to the estimated performance measures.

Satu sistem kawalan bagi memposisikan kepala sebuah pencetak laser mempunyai rangkap pindah gelung tertutupnya $T(s) = \frac{5(s+20)}{(s+2)(s^2+10s+50)}$. Anggapkan persamaan darjah kedua ($s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2$) menguasai, anggarkan peratus lajukan PO dan masa enapannya T_s (berdasarkan kriteria 2%) bagi satu masukan pelangkah seunit. Untuk satu sistem darjah kedua, $PO = 100e^{-\pi\zeta/\sqrt{1-\zeta^2}}$ dan $T_s = 4/(\zeta\omega_n)$ di mana ζ adalah nisbah peredamnya dan ω_n adalah frekuensi semulajadinya. Tunjukkan posisi kutub-kutub dan sifar sistem ini pada satah-s dan pilih punca yang menguasai. Komen tentang sambutan sistem berdasarkan punca yang menguasai berbanding ukuran-ukuran prestasi yang dianggarkan.

(40 marks/markah)

- [c] The block diagram of a space telescope pointing control system is shown in Figure Q3[c]. Select a design value for the gain K and parameter a and b in order to satisfy the integral of time multiplied by absolute error (ITAE) performance and a settling time T_s less than or equal to 1 second for a step command $R(s)$. Given the settling time $T_s = 3/(\zeta\omega_n)$ for 5% criterion and the ITAE coefficient is $s^3 + 1.75\omega_n s^2 + 2.15\omega_n^2 s + \omega_n^3$.

Rajah blok satu sistem kawalan arah teleskop angkasa adalah ditunjukkan dalam Rajah S3[c]. Pilih satu nilai rekabentuk bagi gandaan K dan parameter a dan b untuk memenuhi prestasi kamiran masa didarap ralat mutlak (ITAE) dan satu masa enapan T_s kurang dari atau sama 1saat bagi satu arahan pelangkah $R(s)$. Diberi masa enapan $T_s = 3/(\zeta\omega_n)$ bagi kriteria 5% dan pekali ITAE adalah $s^3 + 1.75\omega_n s^2 + 2.15\omega_n^2 s + \omega_n^3$.

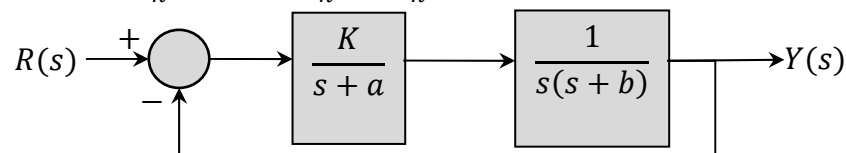


Figure Q3[c]

Rajah S3[c]

(30 marks/markah)

- Q4. Figure Q4 shows the block diagram of a vertical take-off and landing aircraft.

Rajah S4 menunjukkan rajah blok bagi sebuah pesawat berlepas dan mendarat tegak.

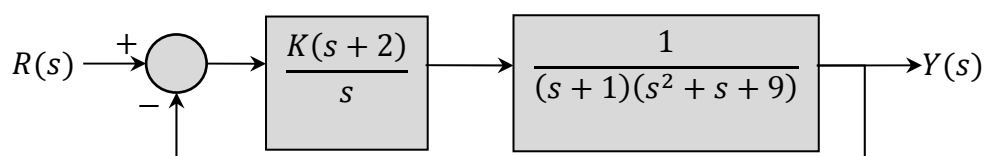


Figure Q4

Rajah S4

- [a] **Determine the stability of the system using the Routh-Hurwitz criterion when gain $K = 20$.**

Tentukan kestabilan sistem tersebut menggunakan kriteria Routh-Hurwitz apabila gandaan $K = 20$.

(25 marks/markah)

- [b] **Analyse the limiting value of gain K for a stable system using the Routh-Hurwitz criterion.**

Analisa had nilai gandaan K bagi satu sistem yang stabil menggunakan kriteria Routh-Hurwitz.

(25 marks/markah)

- [c] **Analyse the imaginary roots for the maximum and minimum gain K that results in marginal stability using the Routh-Hurwitz criterion.**

Analisa punca-punca khayalan bagi gandaan K maksima dan minima yang mengakibatkan kestabilan marginal menggunakan kriteria Routh-Hurwitz.

(20 marks/markah)

- [d] **Analyse the relative stability of the system when gain $K = 3$ by shifting the axis and using the Routh-Hurwitz criterion. Show the roots are between -0.3 and -0.4 .**

Analisa kestabilan relatif sistem apabila gandaan $K = 3$ dengan menganjukkan paksi dan menggunakan kriteria Routh-Hurwitz. Tunjukkan punca-puncunya antara -0.3 dan -0.4 .

(30 marks/markah)

- Q5. A closed-loop system as shown in Figure Q5 is used to control the yaw of the A-6 Intruder attack jet.**

Satu sistem kawalan gelung tertutup seperti ditunjukkan dalam Rajah S5 digunakan bagi mengawal rewang sebuah jet serang A-6 Intruder.

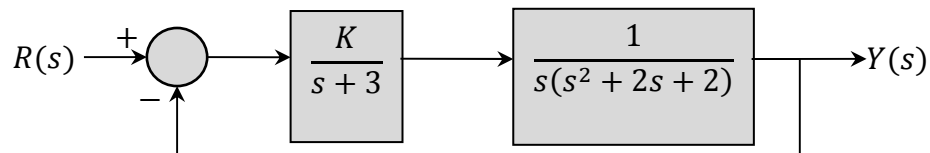


Figure Q5

Rajah S5

- [a] Analyse the number of separate loci. Locate the poles and zeros in the s-plane and locate the segment of the real axis that are root loci.

Analisa bilangan londa berasingan. Lukis kedudukan kutub-kutub dan sifar-sifar dalam satah-s dan lukis segmen paksi nyata yang merupakan londa punca.

(20 marks/markah)

- [b] Determine the asymptote center and angle.

Tentukan pusat dan sudut asymptotnya.

(20 marks/markah)

- [c] Determine the points at which the locus crosses the imaginary axis.

Tentukan titik-titik di mana londa tersebut merentas paksi khayalan.

(20 marks/markah)

- [d] Determine the breakaway point.

Tentukan titik perpisahannya.

(20 marks/markah)

- [e] Complete the root locus sketch.

Lengkapkan lakaran londa puncanya.

(20 marks/markah)

- Q6. [a] A stabilized precision rate table uses a precision tachometer and a DC direct-drive torque motor as shown in Figure Q6[a]. Design a lead network compensator and select the appropriate gain constants so that the system has an overshoot of approximately 10% and a settling time (with a 2% criterion) less than 1.5 seconds.

Satu meja kejitaan stabil menggunakan satu takometer dan satu motor kilas pacuan-terus DC seperti ditunjukkan dalam Rajah S6[a]. Rekabentuk satu pemampas rangkaian mendulu dan pilih pemalar gandaan yang sesuai supaya sistem tersebut mempunyai satu lajukan lebih kurang 10% dan satu masa enapan (dengan kriteria 2%) kurang dari 1.5 saat.

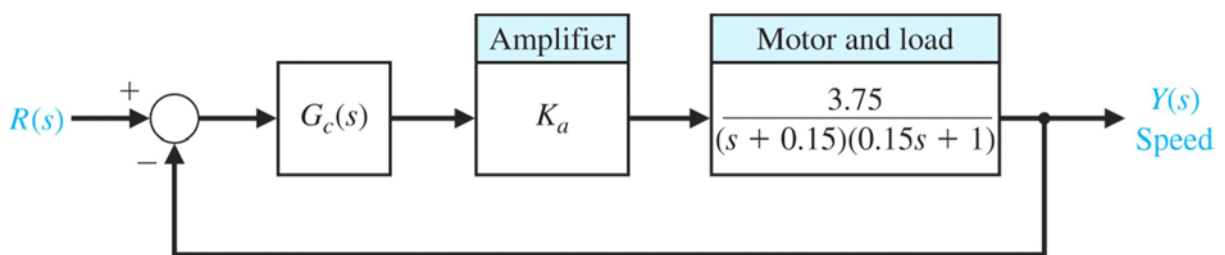


Figure Q6[a]

Rajah S6[a]

(60 marks/markah)

[b] A lateral beam guidance system has an inner loop as shown in Figure Q6[b]. Design a PI controller to meet the following specifications:

- (i) Settling time (with a 2% criterion) to a unit step input of less than 1 second, and
- (ii) Steady-state tracking error for a unit ramp input of less than 0.1.

Satu sistem panduan pancaran sisi mempunyai satu gelung dalaman seperti ditunjukkan dalam Rajah S6[b]. Rekabentuk satu pengawal PI bagi memenuhi spesifikasi berikut.

- (i) Masa enapan (dengan satu kriteria 2%) terhadap satu masukan pelangkah seunit kurang dari 1 saat, dan
- (ii) Ralat menjejaki keadaan-mantap bagi satu masukan tanjakan seunit kurang dari 0.1.

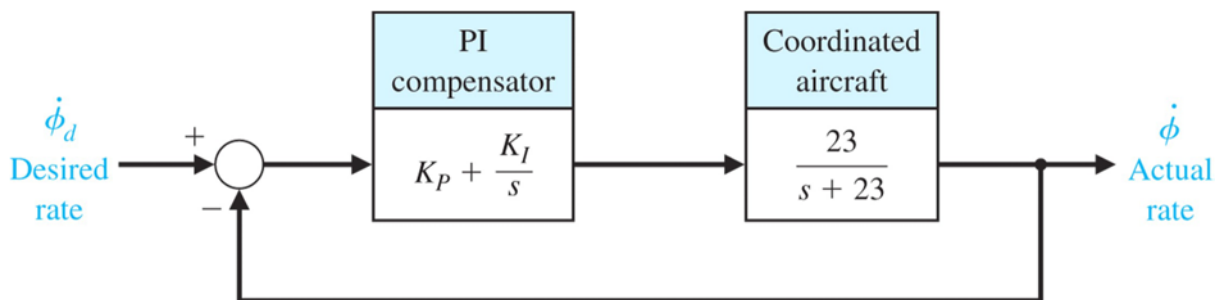


Figure Q6[b]
Rajah S6[b]

(40 marks/markah)

-00000000-

Appendix / Lampiran

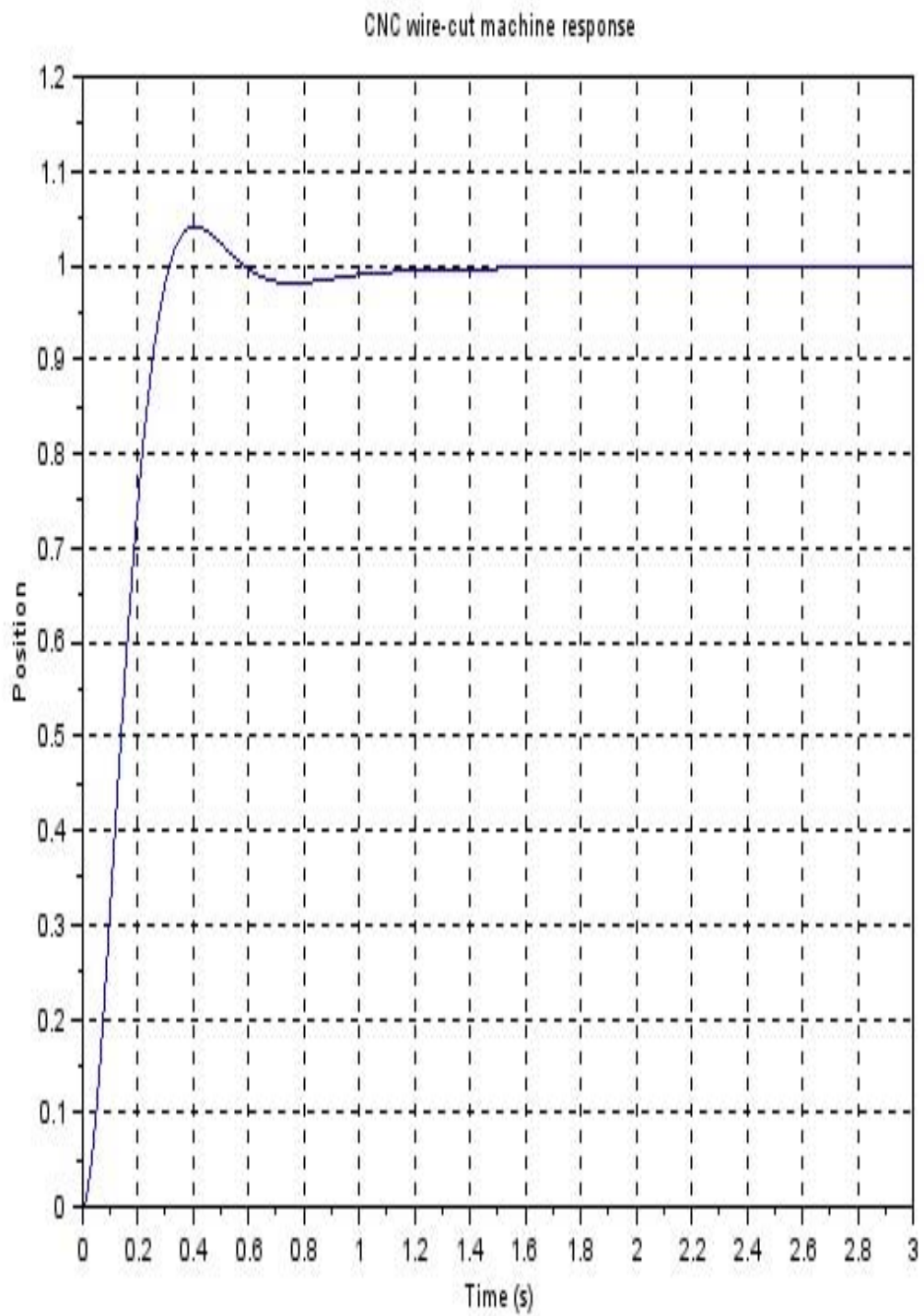


Figure Q3[a]
Rajah S3[a]