

---

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Second Semester Examination  
2014/2015 Academic Session

June 2015

**EMC 322 – Automatic Control**  
**[Kawalan Automatik]**

Duration : 3 hours  
*Masa : 3 jam*

---

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

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

**Appendix/Lampiran:**

1. Response plot of a scanner position control system [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] The output  $y$  and input  $x$  of a device are related by**

*Output  $y$  dan input  $x$  untuk sebuah peranti dihubungkan oleh*

$$y = x + 1.8x^3.$$

**Find the values of the output for steady-state operation at the two operating points  $x_0 = 1$  and  $x_0 = 2$ . Obtain a linearized model for both operating points and compare them.**

*Cari nilai output untuk operasi keadaan stabil pada dua titik operasi  $x_0 = 1$  dan  $x_0 = 2$ . Dapatkan model lurus untuk kedua-dua titik operasi dan bandingkan mereka.*

**(20 marks/markah)**

**[b] Consider a mass-spring-damper system as shown in Figure Q1[b]. At time  $t = 0$ , this system is at position  $x = 0$ , but with an initial velocity of 1 m/s. Beginning at this time, the force  $f(t) = e^{-3t}$  is applied. Find the transfer function  $X(s)/F(s)$ . Given the Laplace transform  $f^{(k)}(t) = \frac{d^k f(t)}{dt^k}$  is**

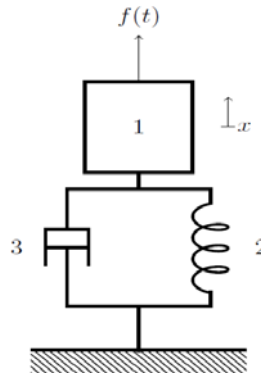
$$F(s) = s^k F(s) - s^{k-1} f(0^-) - s^{k-2} f^{(1)}(0^-) - \dots - s^0 f^{(k-1)}(0^-)$$

$$\text{and } e^{-\alpha t} = \frac{1}{s+\alpha}$$

*Pertimbangkan sistem pegas-jisim-peredam seperti yang ditunjukkan dalam Rajah S1[b]. Pada masa  $t=0$ , sistem ini adalah pada kedudukan  $x=0$ , tetapi dengan halaju permulaan sebanyak 1m/s. Bermula pada masa ini,  $f^{(k)}(t) = e^{-3t}$  digunakan. Tentukan rangkap pindahannya  $X(s)/F(s)$ . Diberi penjelmaan Laplace  $f^{(k)}(t) = \frac{d^k f(t)}{dt^k}$  adalah*

$$F(s) = s^k F(s) - s^{k-1} f(0^-) - s^{k-2} f^{(1)}(0^-) - \dots - s^0 f^{(k-1)}(0^-)$$

$$\text{dan } e^{-\alpha t} = \frac{1}{s+\alpha}$$



**Figure Q1[b]**  
Rajah S1[b]

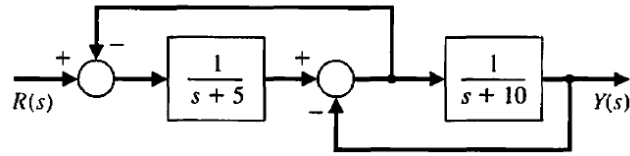
(40 marks/markah)

[c] A system is shown in Figure Q1[c](i).

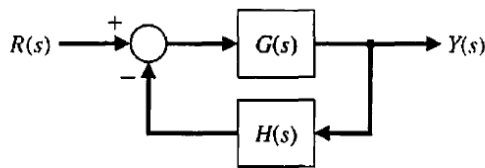
- (i) Determine  $G(s)$  and  $H(s)$  of the block diagram shown in Figure Q1[c](ii) that are equivalent to those of the block diagram of Figure Q1[c](i).
- (ii) Determine  $Y(s)/R(s)$  for Figure Q1[c](ii).
- (iii) Determine the response  $y(t)$  due to a unit step input  $R(s) = \frac{1}{s}$  by using partial fraction expansion. Given the inverse Laplace transform for  $F(s) = \frac{1}{s+a}$  is  $f(t) = e^{-at}$ .

Satu sistem ditunjukkan dalam Rajah S1[c](i).

- (i) Tentukan  $G(s)$  dan  $H(s)$  untuk rajah blok seperti yang ditunjukkan dalam Rajah S1[c](ii) yang menyamai rajah blok untuk Rajah S1[c](i).
- (ii) Tentukan  $Y(s)/R(s)$  untuk Rajah S1[c](ii).
- (iii) Tentukan sambutan  $y(t)$  akibat satu masukan pelangkah seunit  $R(s) = \frac{1}{s}$  dengan menggunakan pengembangan pecahan separa. Diberi penjelmaan Laplace songsang bagi  $F(s) = \frac{1}{s+a}$  adalah  $f(t) = e^{-at}$ .



**Figure Q1[c](i)**  
Rajah S1[c](i)



**Figure Q1[c](ii)**  
Rajah S1[c](ii)

(40 marks/markah)

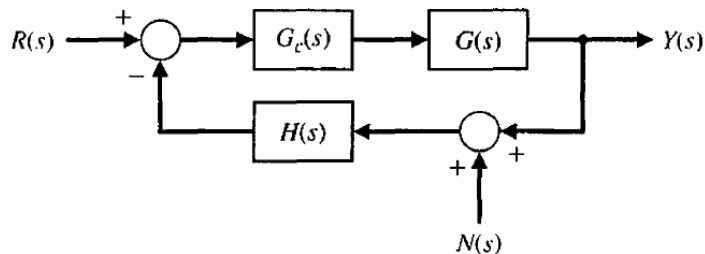
**Q2. In Figure Q2, consider the closed-loop system with measurement noise  $N(s)$ , where**

*Dalam Rajah S2, pertimbangkan sistem kitaran tertutup dengan bunyi pengukuran  $N(s)$ , di mana*

$$G(s) = \frac{100}{s+100}, \quad G_c(s) = K_1, \quad H(s) = \frac{K_2}{s+5}.$$

**In the following analysis, the tracking error is defined to be  $E(s) = R(s) - Y(s)$ :**

*Dalam analisis yang berikut, ralat penjejakan ditakrifkan sebagai  $E(s) = R(s) - Y(s)$ :*



**Figure Q2**  
Rajah S2

- [a] **Compute the transfer function  $T(s) = Y(s) / R(s)$  to a unit step input, that is, let  $R(s) = 1 / s$  and assume that  $N(s) = 0$ .**

*Kirakan rangkap pindah  $T(s) = Y(s) / R(s)$  untuk masukan unit langkah, iaitu,  $R(s) = 1 / s$  dan anggap bahawa  $N(s) = 0$ .*

**(35 marks/markah)**

- [b] **Compute the transfer function  $Y(s) / N(s)$  and determine the steady-state tracking error due to a unit step disturbance, that is, let  $N(s) = 1 / s$  and assume that  $R(s) = 0$ . In this case, the desired output is zero.**

*Kirakan rangkap pindah  $Y(s) / N(s)$  dan tentukan ralat menjejaki keadaan-stabil disebabkan oleh tindak balas gangguan unit langkah, iaitu,  $N(s) = 1 / s$  dan anggap bahawa  $R(s) = 0$ . Dalam kes ini, output yang dikehendaki adalah sifar.*

**(35 marks/markah)**

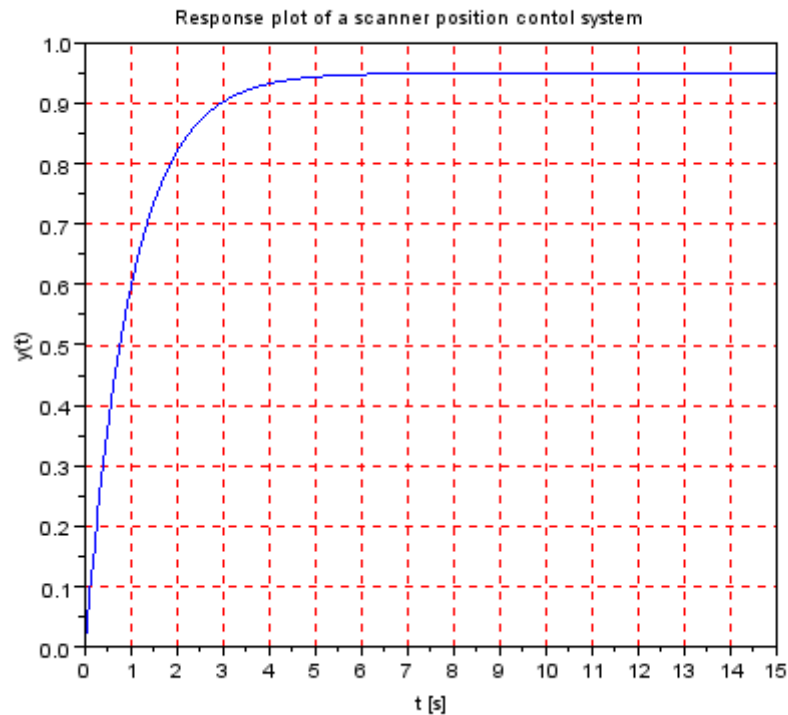
- [c] **If the goal is to track the input while rejecting the measurement noise (in other words, while minimizing the effect of  $N(s)$  on the output), how would you select the parameters  $K_1$  and  $K_2$ ?**

*Jika matlamatnya adalah untuk mengesan masukan sambil menolak hingar pengukuran (dalam erti kata lain, sambil meminimumkan kesan  $N(s)$  pada output), bagaimana anda memilih parameter  $K_1$  dan  $K_2$ ?*

**(30 marks/markah)**

- Q3. [a] **A position control system of a scanner 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 5% criterion), steady state error and rise time. (Use the similar scanner response plot in APPENDIX to show your works and attach it to your answer script.)**

*Satu sistem kawalan posisi sebuah pengimbas 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 5%), ralat keadaan mantap dan masa meningkat. (Guna graf sambutan pengimbas yang serupa dalam LAMPIRAN untuk menunjukkan jalan kerja anda dan kepilkannya bersama skrip jawapan anda.)*



**Figure Q3[a]**  
*Rajah S3[a]*

(30 marks/markah)

[b] The control system stated in Q3[a] has the closed loop transfer function

$$T(s) = \frac{1520}{(s+p)(s^2+as+b)}$$

*Sistem kawalan yang dinyatakan dalam S3[a] mempunyai rangkap pindah gelung*

*tertutupnya*  $T(s) = \frac{1520}{(s+p)(s^2+as+b)}$

- (i) Assuming the second order equation  $(s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2)$  dominates, calculate the parameters  $a$  and  $b$  given the specifications are the percentage of overshoot  $PO = 73\%$  and settling time  $T_s = 0.75$  s (based on 5% criterion) for a unit step input. For a second order system,

$$PO = 100e^{-\pi\zeta/\sqrt{1-\zeta^2}} \text{ and } T_s = \frac{3}{\zeta\omega_n} \text{ where } \zeta \text{ is the damping ratio and } \omega_n \text{ is the natural frequency.}$$

Anggapkan persamaan derajat kedua ( $s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2$ ) menguasai, kira parameter  $a$  dan  $b$  diberi spesifikasinya adalah peratus lajukan  $PO = 73\%$  dan masa enapannya  $T_s = 0.75$  s (berdasarkan kriteria 5%) bagi satu masukan pelangkah seunit. Untuk satu sistem derajat kedua,  $PO = 100e^{-\pi\zeta/\sqrt{1-\zeta^2}}$  dan  $T_s = \frac{3}{\zeta\omega_n}$  di mana  $\zeta$  adalah nisbah peredamnya dan  $\omega_n$  adalah frekuensi semulajadinya.

- (ii) If the actual response is shown in Figure Q3[a], suggest a value for parameter  $p$ .

Jika sambutan sebenarnya ditunjukkan dalam Rajah S3[a], cadangkan satu nilai bagi parameter  $p$ .

(40 marks/markah)

- [c] The block diagram of an automobile speed control system is shown in Figure Q3[c]. Select a design value for parameters  $a$ ,  $b$ ,  $c$  and  $d$  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 s for a ramp command  $R(s)$ . Given the settling time  $T_s = 4/\zeta\omega_n$  for 2% criterion, the damping ratio  $\zeta = 0.7$  for ITAE and the ITAE coefficient is

$$s^4 + 2.41\omega_n s^3 + 4.93\omega_n^2 s^2 + 5.14\omega_n^3 s + \omega_n^4.$$

Rajah blok satu sistem kawalan laju kereta adalah ditunjukkan dalam Rajah S3[c]. Pilih satu nilai rekabentuk bagi parameter  $a$ ,  $b$ ,  $c$  dan  $d$  untuk memenuhi prestasi kamiran masa didarab ralat mutlak (ITAE) dan satu masa enapan  $T_s$  kurang dari atau sama 1 s bagi satu arahan tanjakan  $R(s)$ . Diberi masa enapannya  $T_s = 4/\zeta\omega_n$  bagi kriteria 2%, nisbah peredamnya  $\zeta = 0.7$  bagi ITAE dan pekali ITAE adalah

$$s^4 + 2.41\omega_n s^3 + 4.93\omega_n^2 s^2 + 5.14\omega_n^3 s + \omega_n^4.$$

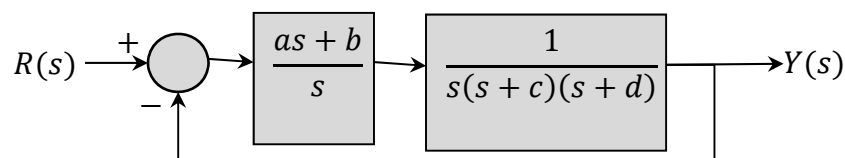


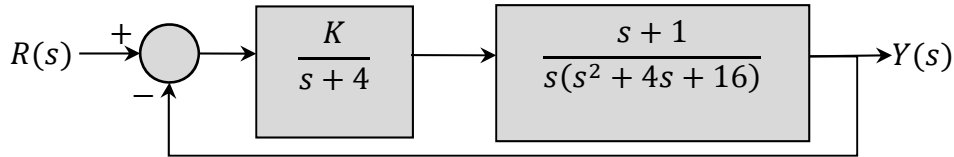
Figure Q3[c]

Rajah S3[c]

(30 marks/markah)

**Q4. Figure Q4 shows the block diagram of a wheeled balancing robot control system.**

*Rajah S4 menunjukkan rajah blok bagi sebuah sistem kawalan robot pengimbang beroda.*



**Figure Q4**  
*Rajah S4*

**[a] Determine the stability of the system using the Routh-Hurwitz criterion when gain  $K = 50$ .**

*Tentukan kestabilan sistem tersebut menggunakan kriteria Routh-Hurwitz apabila gandaan  $K = 50$ .*

**(35 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.*

**(35 marks/markah)**

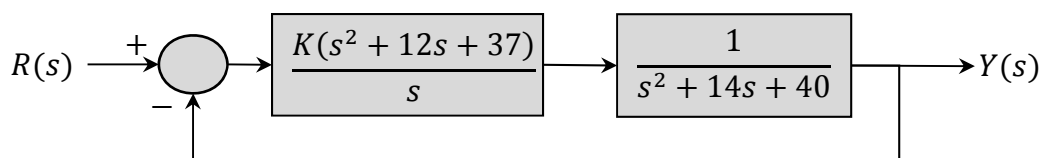
**[c] Analyse the imaginary roots for the maximum and minimum gain  $K$  that results in marginal stability using the Routh-Hurwitz criterion.**

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

**(30 marks/markah)**

**Q5. A closed-loop system as shown in Figure Q5 is used to control the  $y$  axis position of a rapid prototyping machine.**

*Satu sistem kawalan gelung tertutup seperti ditunjukkan dalam Rajah S5 digunakan bagi mengawal posisi paksi  $y$  sebuah mesin penyontoh-ulong pantas.*



**Figure Q5**  
*Rajah S5*



- [a] **Determine the arrival angles of the root locus.**

*Tentukan sudut-sudut ketibaan londar puncanya.*

**(30 marks/markah)**

- [b] **Determine the breakaway point of the root locus.**

*Tentukan titik perpisahan londar puncanya.*

**(30 marks/markah)**

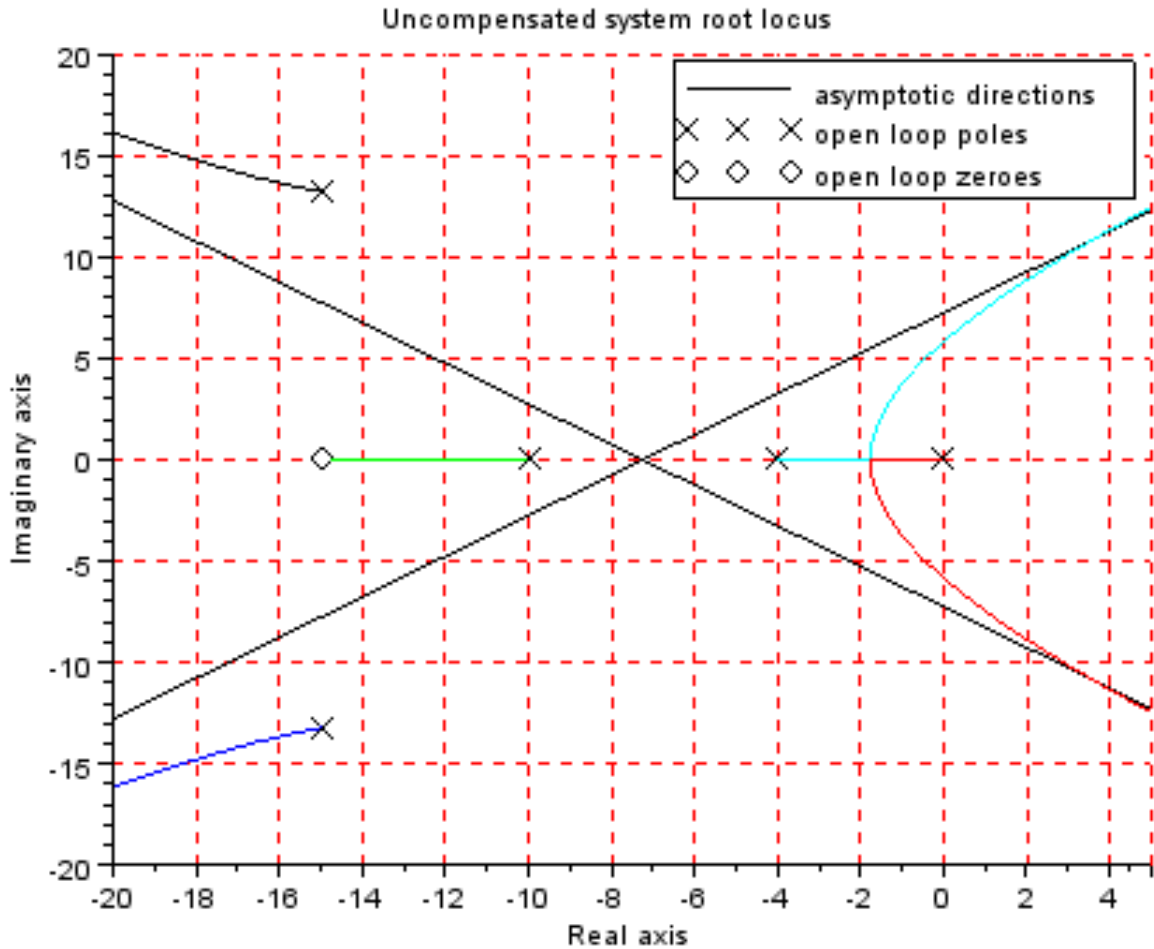
- [c] **Sketch the root locus.**

*Lakarkan londar puncanya.*

**(40 marks/markah)**

- Q6. [a] The control of a lift can be represented by a unity feedback system with the process transfer function  $G(s) = \frac{K(s+15)}{s(s+4)(s+10)(s^2+30s+400)}$ . The root locus of the uncompensated system is shown in Figure Q6[a]. We desire to achieve a velocity error constant 30 and a damping ratio of the dominant roots of 0.866. Design a suitable lag compensator by using root locus method. Sketch the compensated root locus. Given  $\left| \frac{z}{p} \right| = \alpha = \frac{K_c}{K_{uc}}$ .**

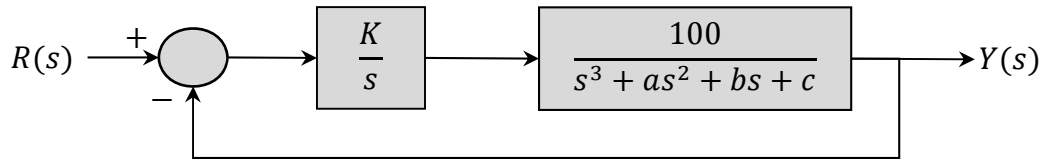
*Kawalan sebuah lif boleh diwakili oleh satu sistem suap-balik seunit dengan rangkap pindah prosesnya  $G(s) = \frac{K(s+15)}{s(s+4)(s+10)(s^2+30s+400)}$ . Londar punca sistemnya tanpa pampasan ditunjukkan dalam Rajah S6[a]. Kita hendak mencapai satu pemalar ralat halaju 30 dan satu nisbah peredam punca-puncanya yang berkuasa 0.866. Reka satu pemampas ketinggalan yang sesuai dengan menggunakan kaedah londar punca. Lakarkan londar punca terpampasnya. Diberi  $\left| \frac{z}{p} \right| = \alpha = \frac{K_c}{K_{uc}}$ .*



(60 marks/markah)

- [b] A steam engine control system is shown in Figure Q6[b]. Select the value of  $K$ ,  $a$ ,  $b$  and  $c$  so that the step response is deadbeat and the settling time (with a 2% criterion) is less than 1 s. Given the normalized settling time is 4.81 and the deadbeat coefficient is  $s^4 + 2.2\omega_n s^3 + 3.5\omega_n^2 s^2 + 2.8\omega_n^3 s + \omega_n^4$ .

Satu sistem kawalan enjin wap ditunjukkan dalam Rajah S6[b]. Pilih nilai  $K$ ,  $a$ ,  $b$  dan  $c$  supaya sambutan pelangkahnya kalah mati dan masa enapannya (dengan satu kriteria 2%) adalah kurang dari 1 s. Diberi masa enapan normalnya adalah 4.81 dan pekali kalah matinya adalah  $s^4 + 2.2\omega_n s^3 + 3.5\omega_n^2 s^2 + 2.8\omega_n^3 s + \omega_n^4$ .



**Figure Q6[b]**  
*Rajah S6[b]*

**(40 marks/markah)**

-oooOOooo-

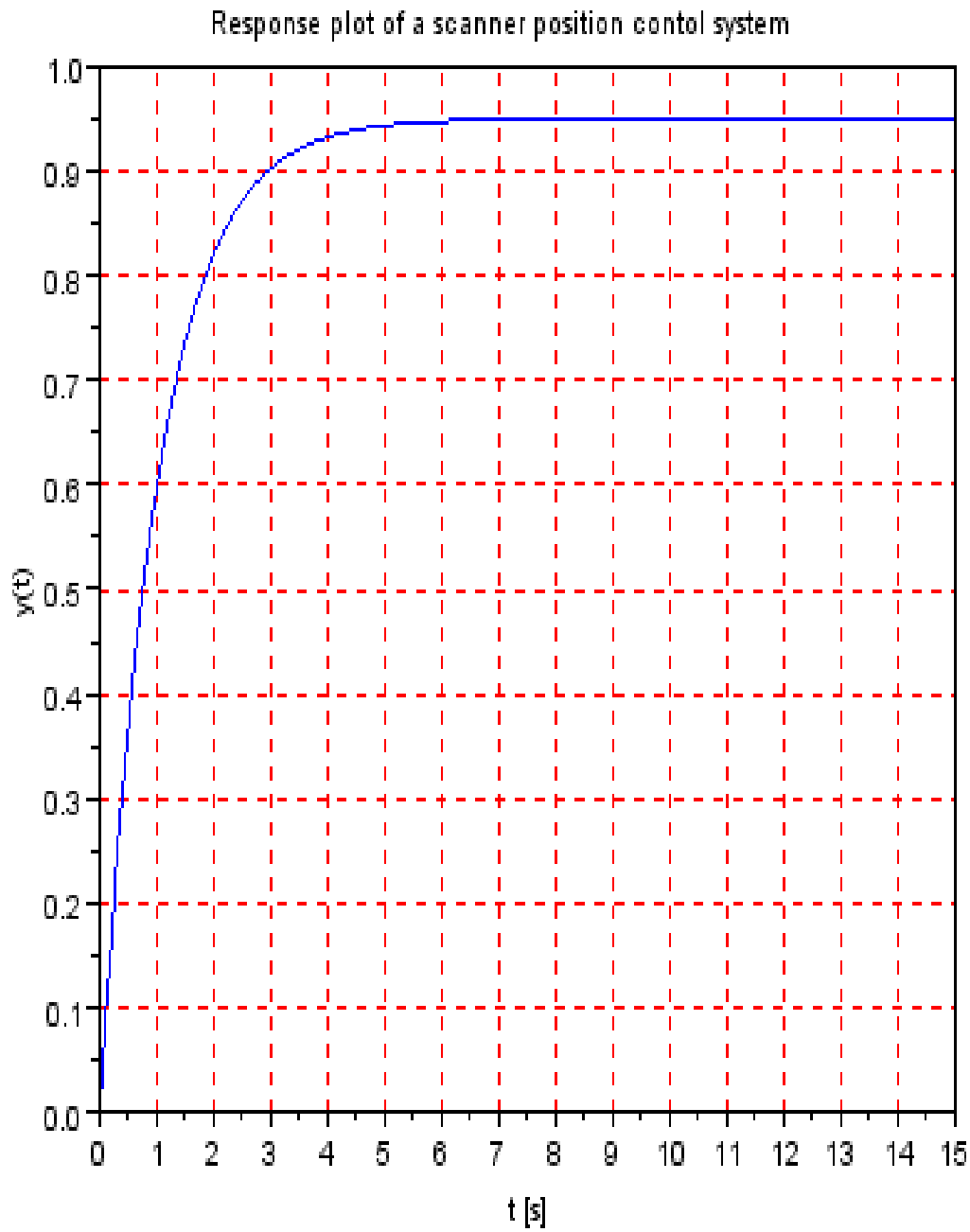


Figure Q3[a]  
Rajah S3[a]