
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Second Semester Examination
Academic Session 2008/2009
*Peperiksaan Semester Kedua
Sidang Akademik 2008/2009*

April/May 2009
April/Mei 2009

EMM 302/3 – Automatic Control
Kawalan Automatik

Duration : 3 hours
Masa : 3 jam

INSTRUCTIONS TO CANDIDATE:

ARAHAN KEPADA CALON:

Please check that this paper contains **SEVEN (7)** printed pages and **SEVEN (7)** questions before you begin the examination.

*Sila pastikan bahawa kertas soalan ini mengandungi **TUJUH (7)** mukasurat bercetak dan **TUJUH (7)** soalan sebelum anda memulakan peperiksaan.*

Answer **FIVE (5)** questions.

*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.*

Each question must begin from a new page. Show the working clearly for answers involving calculations.

Setiap soalan mestilah dimulakan pada mukasurat yang baru. Tunjukkan jalan kerja dengan jelas bagi jawapan yang melibatkan kiraan.

- Q1. [a]** A pneumatic pump has a torque T_{load} which is a function of shaft speed n described by:

$$T_{load} = 7.8 \times 10^{-8} (n^3) + 0.045 (n)$$

where n is the rotor speed in rpm. We wish to model the pump operation for use in a control system. Generate an equation for the linear best-fit approximation for the load around $n = 2000$.

Sebuah pum pneumatic mempunyai satu kilas T_{load} yang mempunyai rangkap laju aci n dinyatakan oleh:

$$T_{load} = 7.8 \times 10^{-8} (n^3) + 0.045 (n)$$

di mana n adalah laju pemutar dalam rpm. Kita ingin modelkan operasi pum bagi kegunaan dalam satu system kawalan. Janakan satu persamaan bagi penghampiran paling cocok lurus bagi beban $n = 2000$.

(60 marks/markah)

- [b]** Over what range is the linear approximation within 4% of the original equation?

Apakah julat penghampiran lurus tersebut dalam lingkungan 4% daripada persamaan asal?

(40 marks/markah)

- Q2. [a]** The torque of an electric motor T_e is proportional to its current I :

$$T_e = K_t (I)$$

The motor drives a load T_1 which has inertia J and a torque of:

$$T_1 = K_l (n)$$

where n is the rotational speed of the shaft (in cycles per second). Draw a block diagram showing how the shaft speed ω (in radians per second) is related to the current including the effects of the load inertia and torque.

Kilas sebuah motor elektrik T_e adalah berkadaran dengan arusnya I

$$T_e = K_t (I)$$

Motor tersebut memacu satu beban T_1 yang mempunyai inersia J dan satu kilas:

$$T_1 = K_l (n)$$

di mana n adalah laju putaran aci (dalam kitar per saat). Lukis satu rajah blok menunjukkan bagaimana laju aci ω (dalam radian per saat) dihubungkan kepada arus termasuk kesan inersia dan kilas beban.

(60 marks/markah)

[b] Give the transfer function ω / I .

Beri rangkap pindah ω / I .

(40 marks/markah)

Q3. The block diagram to control the speed of a spindle for a turning machine is shown in Figure Q3. The transfer function of the process, controller and feedback are $G_p(s) = \frac{2(s+a)}{s(s+b)}$, $G_c(s) = K_P + \frac{K_I}{s}$ and $H(s) = 3$ respectively. $D(s)$ is a disturbance.

Rajah blok bagi mengawal kelajuan sebuah pengumpar bagi sebuah mesin larik ditunjukkan dalam Rajah S3. Rangkap pindah bagi proses, pengawal dan suap-baliknya masing-masing adalah $G_p(s) = \frac{2(s+a)}{s(s+b)}$, $G_c(s) = K_P + \frac{K_I}{s}$ dan $H(s) = 3$. $D(s)$ adalah satu gangguan.

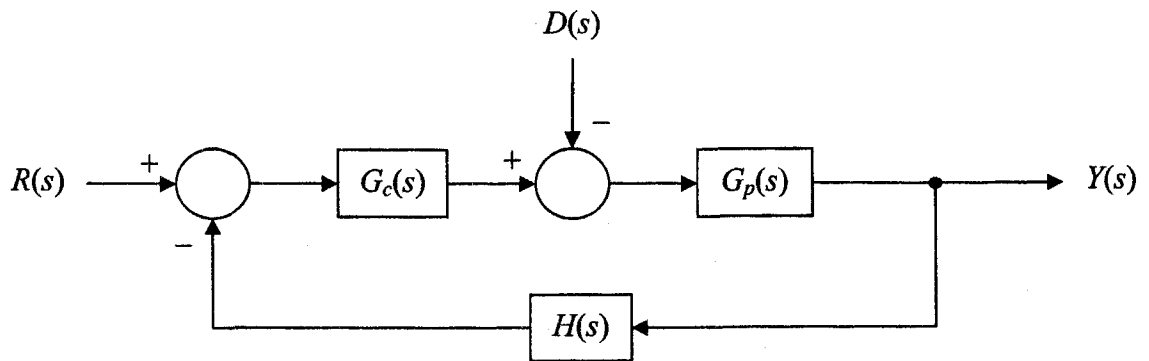


Figure Q3
Rajah S3

[a] Find the sensitivity of the system toward the change in the parameter b when $K_P = 5$, $K_I = 10$ and there is no disturbance. Comment on the sensitivity if $a = 5$, $b = 4$ and $s = -1$.

Dapatkan kepekaan sistem terhadap perubahan dalam parameter b apabila $K_P = 5$, $K_I = 10$ dan tiada gangguan. Komen terhadap kepekaannya jika $a = 5$, $b = 4$ dan $s = -1$.

(30 marks/30 markah)

- [b] The speed of the spindle can be set to 10000 RPM by giving a step input command $R(s) = \frac{10000}{s}$. Calculate the steady state error of the system when $K_P = 5$, $K_I = 10$, $a = 5$, $b = 4$ and there is no disturbance. Comment on the accuracy of the spindle speed.

Kelajuan pengumparnya boleh disetkan ke 10000 RPM dengan memberi satu arahan masukan pelangkah $R(s) = \frac{10000}{s}$. Kira ralat keadaan mantap sistem apabila $K_P = 5$, $K_I = 10$, $a = 5$, $b = 4$ dan tiada gangguan. Komen terhadap kejitian kelajuan pengumpar.

(35 marks/markah)

- [c] When the tool tip touches the work piece, a step disturbance $D(s) = \frac{5}{s}$ is added to the spindle. Calculate the steady state response of the system when $K_P = 5$, $K_I = 10$, $a = 5$ and $b = 4$ (assume $R(s) = 0$). Comment on the effect of the disturbance to the speed accuracy.

Apabila hujung mata alatnya menyentuh bahan kerja, satu gangguan pelangkah $D(s) = \frac{5}{s}$ ditambah kepada pengumpar. Kira sambutan keadaan mantap sistem apabila $K_P = 5$, $K_I = 10$, $a = 5$ dan $b = 4$ (anggap $R(s) = 0$). Komen terhadap kesan gangguan kepada kejitian kelajuan.

(35 marks/markah)

- Q4. [a] Consider a unity feedback control system of a car suspension which has a second order transfer function $G(s) = \frac{9}{s(s+4)}$. Determine the percentage of overshoot, peak time, settling time (2% of the final value), rise time and steady state error when a unit step input is applied.

Ambil kira satu sistem kawalan suapbalik seunit sebuah gantungan kereta yang mempunyai satu rangkap pindah darjah kedua $G(s) = \frac{9}{s(s+4)}$. Tentukan peratusan lajukan, masa memuncak, masa penetapan (2% dari nilai akhir), masa meningkat dan ralat keadaan mantap.

(40 marks/markah)

- [b] A rapid prototyping machine utilizes a feedback control system with a transfer function $T(s) = \frac{bc}{(s^2+as+b)(s+c)}$ to control the movement of its x axis. The response of the system is expected to have a settling time within 5% of its final value in 2 seconds and a percentage of overshoot 5% when a unit step input is applied. Calculate the parameter a, b and c.

Sebuah mesin pencontoh-sulung pantas menggunakan sistem kawalan suapbalik dengan rangkap pindah $T(s) = \frac{bc}{(s^2+as+b)(s+c)}$ bagi mengawal pergerakan paksi x nya. Sambutan sistem tersebut dijangka mempunyai masa penetapan dalam 5% nilai akhirnya selama 2 saat dan peratus lajukan 5% apabila satu masukan pelangkah seunit dikenakan. Kira parameter a, b dan c.

(35 marks/markah)

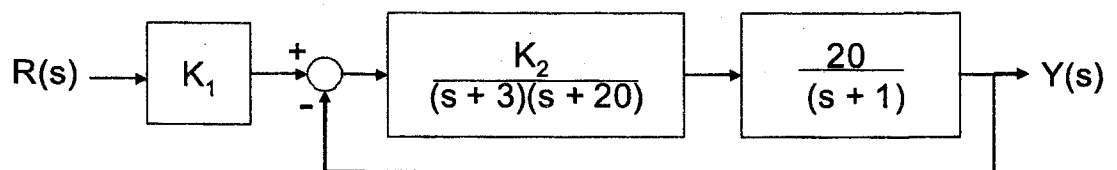
- [c] A unity feedback control system of an automated guided vehicle has a process transfer function $G(s) = \frac{25.04}{s(s-0.4)}$. Determine the position of its poles in s-plane and sketch the approximate response of the system when a unit impulse input is applied. Comment the response.

Sebuah sistem kawalan suapbalik seunit sebuah kenderaan berpandu berautomatik mempunyai satu rangkap pindah proses $G(s) = \frac{25.04}{s(s-0.4)}$. Tentukan posisi kutub-kutubnya dalam satah-s dan lakarkan sambutan sistem secara kasar apabila satu masukan dedenyut seunit dikenakan. Komen sambutan tersebut.

(25 marks/markah)

- Q5. Given the following closed loop control system:

Diberikan sistem kawalan gelung tertutup berikut:



- [a] For what values of K_1 and K_2 is this system stable?

Apakah nilai K_1 dan K_2 bagi system ini adalah stabil?

(40 marks/markah)

- [b] If the overall gain K_2 is set to 0.25, what is the time required for the system to settle to within 2% of its final value for a step function input?

Jika keseluruhan gandaan diset kepada 0.25, berapakah masa diperlukan untuk sistem tersebut mengesap ke dalam lingkungan 2% nilai akhirnya bagi satu masukan rangkap pelangkah?

(20 marks/markah)

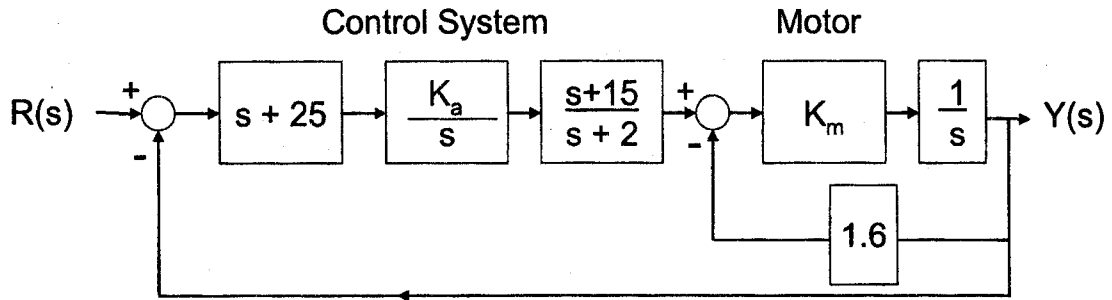
- [c] What are the roots of the equation at this gain?

Apakah punca-punca persamaannya pada gandaan ini?

(40 marks/markah)

- Q6. An inertial guidance system is governed by the following control system:

Sebuah sistem panduan inersia tertakluk kepada sistem kawalan berikut:



The speed output range is from 0.1 °/sec to 600 °/sec with a 0.1% steady state error for a step function input. K_m is nominally 1.8 +/- 50% and K_a is typically >10.

Julat output laju adalah dari 0.1 %/saat hingga 600 %/saat dengan satu 0.1% ralat keadaan mantap bagi satu masukan rangkap pelangkah. K_m biasanya 1.8 +/- 50% dan K_a selalunya > 10.

- [a] Determine the minimum loop gain required for the given steady state error requirement.

Tentukan gandaan gelung minimum diperlukan bagi keperluan ralat keadaan mantap diberikan.

(30 marks/markah)

- [b] Determine the limiting value of gain for stability.

Tentukan nilai menghadkan gandaan bagi kestabilan.

(20 marks/markah)

- [c] Sketch the root locus as K_a varies from 0 to infinity.

Lakarkan londar punca dengan K_a berubah dari 0 kepada infiniti.

(30 marks/markah)

- [d] Determine the roots when $K_a = 40$ and estimate the response to a step function.

Tentukan punca-puncanya apabila $K_a = 40$ dan anggarkan sambutannya terhadap satu rangkap pelangkah.

(20 marks/markah)

- Q7. A computer numerical control milling machine uses a force sensor to measure its load as a unity feedback control system. The machine has a process with a third order transfer function $G(s)$:**

Sebuah mesin pencanai kawalan berangka komputer menggunakan sebuah penderia daya bagi mengukur bebannya sebagai satu sistem kawalan suap-balik seunit. Mesin tersebut mempunyai proses dengan rangkap pindah darjah ketiga $G(s)$:

$$G(s) = \frac{1}{s(s+3)(s+4)}$$

- [a] Sketch the uncompensated root locus when the compensator is only a proportional controller $G_c(s) = K$.**

Lakarkan londar punca tidak terpampas apabila pemampasnya hanya satu pengawal berkadaran $G_c(s) = K$.

(20 marks/markah)

- [b] We desire the percentage of overshoot to be 16.3%, the settling time within 2% of its final value in 2 seconds and velocity constant $K_v = 2.4$. Design a suitable phase-lead compensator by using root locus methods.**

Kita kehendaki peratus lajakannya 16.3%, masa penetapan dalam 2% nilai akhirnya selama 2 saat dan pemalar halaju $K_v = 2.4$. Rekabentuk satu pemampas duluan fasa yang sesuai dengan menggunakan kaedah londar punca.

(40 marks/markah)

- [c] We desire the percentage of overshoot to be 4.3%, the settling time within 2% of its final value in 4 seconds and velocity constant $K_v = 100$. Design a suitable phase-lag compensator by using root locus methods.**

Kita kehendaki peratus lajakannya 4.3%, masa penetapan dalam 2% nilai akhirnya selama 4 saat dan pemalar halaju $K_v = 100$. Rekabentuk satu pemampas susulan fasa yang sesuai dengan menggunakan kaedah londar punca.

(40 marks/40 markah)