

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Peperiksaan Semester Pertama
Sidang Akademik 1995/96

Oktober-November 1995

EEE 451 - Analisis & Rekabentuk Sistem Kawalan

Masa : [3 jam]

ARAHAN KEPADA CALON :

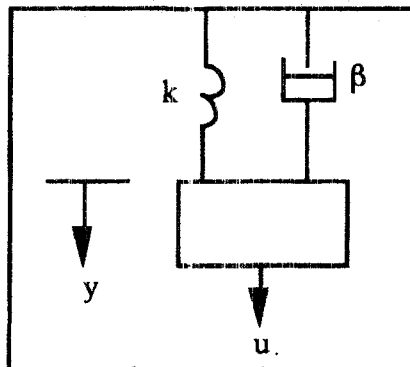
Sila pastikan bahawa kertas peperiksaan ini mengandungi 11 muka surat bercetak dan **ENAM (6)** soalan sebelum anda memulakan peperiksaan ini.

Jawab **LIMA (5)** soalan.

Agihan markah bagi soalan diberikan di sut sebelah kanan soalan berkenaan.

Jawab semua soalan di dalam Bahasa Malaysia.

...2/-



1. Suatu lif sedang bergerak naik di dalam sesuatu bangunan. Sesuatu jisim m digantungkan dari bumbung lif menggunakan suatu spring tak lurus dan pemampam gegaran seperti yang ditunjukkan dalam rajah di atas. Spring yang tidak lurus tersebut mengenakan daya $-ky^2$ apabila y ialah kedudukan sebenar jisim. Pemampam gegaran pula ialah lurus dan mengenakan daya $-\beta\dot{y}$.

An elevator is moving upward in a building and a mass m is connected to the roof of the elevator through a nonlinear spring and shock absorber as shown in the figure above. The nonlinear spring produces a force given by $-ky^2$, where y is the displacement of the mass from its position in the elevator in free fall. The shock absorber is linear and will produce a force given by $-\beta\dot{y}$.

- (a) Dapatkan perwakilan ruang keadaan bagi sistem ini dalam bentuk

Obtain a state-space representation of this system of the form

$$\dot{x}_1 = f_1(x_1, x_2, u, v)$$

$$\dot{x}_2 = f_2(x_1, x_2, u, v)$$

apabila $x_1 = y$, $x_2 = \dot{y}$, $u =$ daya kawalan, $v = g + a$, $g =$ pecutan graviti, dan $a =$ pecutan ke atas lif berbanding dengan bangunan.

...3/-

where $x_1 = y$, $x_2 = \dot{y}$, $u = \text{control force}$, $v = g + a$, $g = \text{acceleration of gravity}$, and $a = \text{upward acceleration of the elevator with respect to the building}$.

(20%)

- (b) Leluruskan sistem ini di persekitaran keadaan mantap apabila $x_2 = 0$, $x_1 = \text{kedudukan equilibrium jisim}$ apabila $a = u = 0$ untuk mendapatkan sistem dalam bentuk

Linearize this system about a steady-state given by $x_2 = 0$, $x_1 = \text{equilibrium position of the mass when } a = u = 0$ to obtain a system of the form

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{Ax} + \mathbf{Bu} + \mathbf{Rv}$$

(20%)

- (c) Anggapkan bahawa kedudukan sistem y digunakan sebagai keluaran. Tentukan matrik keluaran c yang membentuk persamaan

Assume that the position of the system y will be measured as the output. Determine the output matrix c that will give the output equation of the form

$$y = cx$$

(20%)

- (d) Tentukan sambutan sistem lurus tanpa tekanan $x(t)$ bagi sistem dengan nilai awal.

Determine the free response of the linear system $x(t)$ with initial conditions.

$$x(0) = [1 \quad 1]^T$$

Anggapkan $a = 10 \text{ m/s}^2$, $m = \beta = k = 1$

Assume $\alpha = 10 \text{ m/s}^2$, $m = \beta = k = 1$

(20%)

...4/-

- (e) Tentukan sambutan sistem lurus langkah sistem apabila nilai awal diberi sebagai $x(0) = [0 \quad 0]^T$.

Determine the step response of the linear system when the initial conditions are $x(0) = [0 \quad 0]^T$.

(20%)

2. Diberikan suatu model sistem yang diperihalkan oleh persamaan kebezaan tertib kedua di bawah.

Given a system model described by the second order differential equation below,

$$\ddot{y} + 5\dot{y} + 6y = 10u$$

- (a) Tentukan model ruang keadaan dalam bentuk boleh cerap.
Determine the state-space model of the canonical observable form.

$$\dot{x} = Ax + Bu$$

$$y = Cx + Du$$

(20%)

- (b) Tentukan nilai-nilai eigen dan vektor eigen bagi matrik A.
Determine the eigen values and the eigen vectors of the matrix A.

(20%)

- (c) Tentukan model pepenjuru (jordan) yang setara menggunakan operasi jelmaan.

Find the equivalent diagonal (Jordan) form of the state space model using transformation operation.

(20%)

- (d) Tentukan matrik pemindahan sistem $\Phi(t)$.

Determine the transition matrix of the system $\Phi(t)$.

(20%)

...5/-

- (e) Tentukan rangkap pindah $H(s) = \frac{Y(s)}{u(s)}$.

Determine the transfer function $H(s) = \frac{Y(s)}{u(s)}$.

(20%)

3. Bagi sistem yang diperihalkan oleh

For the system described by

$$\ddot{y} + 2\dot{y} = u$$

- (a) Dapatkan perwakilan setara ruang keadaan dalam bentuk teman bolehkawal.

Obtain an equivalent state-space representation in controllable companion form.

(20%)

- (b) Adakah sistem ini boleh dikawal? Berikan sebab.

Is the system controllable? Justify your answer.

(20%)

- (c) Menggunakan suapbalik pembolehubah keadaan dalam bentuk

Using state variable feedback of the form

$$u = r - k_1x_1 - k_2x_2$$

tentukan k_1 dan k_2 supaya sistem yang terkawal akan mempunyai nilai eigen pada $\lambda = -2 \pm i$.

determine k_1 and k_2 so that the controlled system will have eigenvalues at $\lambda = -2 \pm i$.

(20%)

...6/-

- (d) Adakah sistem ini boleh dicerap? Berikan sebab.

Is the system observable? Justify your answer.

(20%)

- (e) Tentukan nilai-nilai bagi vektor G yang boleh digunakan dengan pencerap identiti supaya nilai eigen pencerap terletak pada $x = -3 \pm i$.

Determine values for the G vector used with the identity observer so that observer eigen values are placed at $x = -3 \pm i$.

(20%)

4. Persamaan kebezaan yang memperihalkan pergerakan lurus rotor terawang menggunakan magnet diberi sebagai

The differential equation describing the linearized motion of a magnetically suspended rotor is given by

$$\ddot{y} - \beta_1 \dot{y} = \beta_2 u$$

apabila $\beta_1 = k/m$ dan $\beta_2 = 1/m$.

when $\beta_1 = k/m$ and $\beta_2 = 1/m$.

Anggapkan $k = m = 1$.

Assume $k = m = 1$.

- (a) Dapatkan perwakilan setara ruang keadaan dalam bentuk teman bolehkawal.

Obtain an equivalent state-space representation of the controllable companion form.

(20%)

...7/-

- (b) **Dapatkan rangkap pindah gelung terbuka sistem.**

Obtain the open-loop transfer function of the system.

(20%)

- (c) **Rekabentuk pengawal bagi sistem ini dalam bentuk**

Design a controller for this system of the form

$$u = r - k_1x_1 - k_2x_2$$

Sistem yang terkawal perlu mempunyai nilai eigen pada

The controlled system is to have eigenvalues at

$$x = -5 \pm 5i$$

(20%)

- (d) **Adakah rangkap pindah gelung tertutup sistem apabila**

What is the closed-loop transfer function of the system when

$$u = -kx + v$$

(20%)

- (e) **Rekabentuk pencerap identiti bagi sistem dengan nilai-nilai eigen diletak pada**

Design an observer for this system of the form,

$$x = -6 \pm 5i$$

dan terangkan apa yang dimaksudkan dengan "prinsip pemisahan".

and explain what is the meaning of "separation principle".

(20%)

...8/-

5. Model bagi sistem apungan kereta diberikan oleh

A model of an automobile suspension system is given by

$$m\ddot{y} + ky = u$$

apabila m ialah jisim, k pemalar spring, u daya tujah pada rangka kereta dan y kedudukan tegak.

where m is the mass, k the spring constant, u the upward force on the frame and y the vertical position.

Untuk mengendalikan ujian kekuatan, kita boleh mengenakan daya $u(t)$ dan mengalihnya dengan tiba-tiba hingga kerosakan berlaku. Untuk mengira daya ini, kita perlu menyelesaikan masalah berikut. Dapatkan $u(t)$ yang boleh menggerakkan kereta dari $y(0) = 0$, $\dot{y}(0) = 0$ ke kedudukan akhir $y(T) = h$ dan $\dot{y}(T) = 0$ bagi masa akhir T dan menjimatkan tenaga kawalan

To conduct durability test, we repetitively apply a force $u(t)$ and suddenly remove it until failure occurs. To compute the force, we solve the following problem. Find $u(t)$ to move the automobile from $y(0) = 0$, $\dot{y}(0) = 0$ to a final position of $y(T) = h$ and $\dot{y}(T) = 0$ at a given final time T and minimize the control energy

$$J = \frac{1}{2} \int_0^T u^2 dt$$

(a) Tuliskan persamaan keadaan apabila keadaan yang digunakan ialah

Write the state equation if the state is

$$x = [y \quad \dot{y}]^T$$

(20%)

...9/-

- (b) Tuliskan persamaan-persamaan keadaan dan keadaan bersama, keadaan tetap dan keadaan sempadan. Gugurkan u dari persamaan-persamaan keadaan dan keadaan bersama.

Write the state and co-state equations, stationary conditions, and secondary conditions. Eliminate u from the state and co-state equations.

(20%)

- (c) Selesaikan bagi keadaan bersama menggunakan nilai yang belum ditentukan $\lambda(0)$. Selesaikan bagi keadaan menggunakan nilai yang belum ditentukan $\lambda(0)$ dan yang diketahui $x(0)$.

Solve for the co-state in terms of the as yet unknown $\lambda(0)$. Solve for the state in terms of the unknown $\lambda(0)$ and the known $x(0)$.

(20%)

- (d) Gunakan keadaan sempadan untuk mencari $\lambda(0)$. Gunakan $m = k = 1, T = 2, h = -3$.

Use the boundary conditions to find $\lambda(0)$. Let $m = k = 1, T = 2, h = -3$.

(20%)

- (e) Cari kawalan optima dan laluan keadaan optima.

Find the optimal control and optimal state trajectory.

(20%)

6. Suatu sistem tertib pertama diwakili oleh persamaan kebezaan domain masa.

A first-order system is represented by the time domain differential equation.

$$\dot{x} = 3x + 2u$$

...10/-

Suatu pengawal suapbalik perlu direkabentuk supaya

A feedback controller is to be designed where

$$u(t) = -kx$$

dan kedudukan equilibrium yang perlu direkabentuk $t \rightarrow \infty$.

and the designed equilibrium condition is $x(t) = 0$ as $t \rightarrow \infty$.

Fungsi prestasi diberi sebagai

The performance integral is

$$J = \int_0^{\infty} x^2 dt$$

dan nilai awal bagi pembolehubah ruang keadaan ialah $x(0) = 1$.

and the initial value of the state variable is $x(0) = 1$.

- (a) Dapatkan nilai k yang boleh memberi nilai minima bagi J . Adakah nilai k ini munasabah untuk dilaksanakan?**

Obtain the value of k in order to make a minimum J . Is this value of k physically realizable?

(25%)

- (b) Pilih nilai k yang lebih praktikal dan nilaikan indeks prestasi yang diperolehi menggunakan nilai k ini.**

Select a more practical value for the gain k and evaluate the performance index using the selected value.

(25%)

- (c) Ulangi bahagian (a) menggunakan indeks prestasi yang baru**

Repeat part (a) using the new performance index

$$J = \int_0^{\infty} (x^2(t) + \lambda u^2(t)) dt$$

(25%)

...11/-

- (d) **Jika $\lambda = 1$, dapatkan nilai k yang meminimalkan indeks prestasi J .
Kira nilai minima yang diperolehi.**

If $\lambda = 1$, obtain the value of k that minimizes the performance index. Calculate the resulting minimum value of J .

(25%)

- oooOooo -