

---

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Second Semester Examination  
Academic Session 2009/2010

April/Mei 2010

**ESA 322/3 – Structural Dynamics**  
*Dinamik Struktur*

Duration : 3 hours  
*Masa : 3 jam*

---

**INSTRUCTIONS TO CANDIDATE:**  
**ARAHAN KEPADA CALON :**

Please ensure that this paper contains **ELEVEN (11)** printed pages and **SIX (6)** questions before you begin examination.

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

Answer **FIVE (5)** questions.  
*Jawab **LIMA (5)** soalan.*

Appendix/*Lampiran*:

1. Appendix 1/*Lampiran 1* [1 page/*mukasurat*]

Student may answer the questions either in English or Bahasa Malaysia.

*Pelajar boleh menjawab soalan dalam Bahasa Inggeris atau Bahasa Malaysia.*

Each question must begin from a new page.

*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 kertas soalan, versi Bahasa Inggeris hendaklah diguna pakai.*

1. (a) Provide brief answers to the following questions:

*Jawab soalan-soalan berikut secara ringkas:*

- (i) Does a forced vibration system require initial conditions for the solution to be unique? Explain your reasons.

*Adakah suatu sistem getaran paksaan memerlukan syarat-syarat awal untuk mendapatkan penyelesaian yang unik? Terangkan sebab-sebabnya.*

- (ii) Why does a damped system modeled as having viscous damping exhibit logarithmic decay as opposed to linear decay? Explain your answer with respect to the equation of motion having viscous damping.

*Mengapakah sistem teredam yang dirumusi sebagai mempunyai redaman likat menunjukkan susutan logaritma, bukannya susutan linear? Terangkan jawapan anda dengan menghubungkannya dengan persamaan pergerakan dengan redaman likat.*

- (iii) Is the frequency of a damped free vibration always smaller or greater than the natural frequency of the system? Explain your answer.

*Adakah frekuensi getaran bebas teredam sentiasa lebih kecil atau lebih besar dari frekuensi tabii sesuatu sistem? Terangkan jawapan anda.*

- (iv) Explain the following terms: Amplitude ratio; Force Transmissibility Ratio; Displacement Transmissibility Ratio; Resonance.

*Terangkan istilah-istilah ini: Nisbah amplitud; Nisbah Kebolehpindahan Daya; Nisbah Kebolehpindahan Anjakan; Resonan.*

**(40 marks/markah)**

- (b) Consider the following mass-spring-damper system which is fixed at both ends as shown in **Figure 1(b)**.

*Perhatikan sistem jisim-pegas-peredam yang terikat pada kedua-dua hujung seperti di dalam **Rajah 1(b)**.*

- (i) Derive the equation of motion and express the damped frequency  $\omega_d$  in terms of equivalent stiffness  $k_{eq}$ .

*Terbitkan persamaan pergerakan dan berikan rumus frekuensi teredam  $\omega_d$  sebagai fungsi kekakuan setara  $k_{eq}$ .*

- (ii) Find the response if the system vibrates from rest and initial velocity of 10 cm/s. Assume  $k_1 = 100$  N/cm,  $k_2 = 50$  N/cm,  $c = 1.5$  Ns/cm,  $m = 2$  kg.

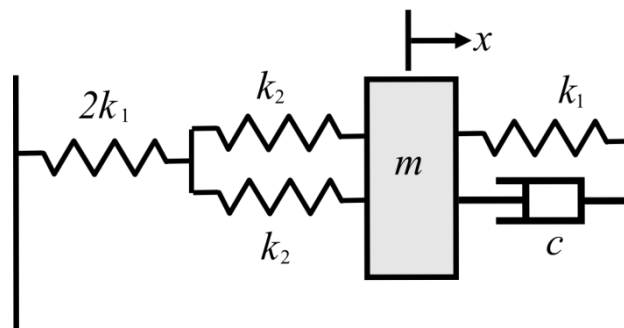
*Tentukan sambutan sistem jika ia bergetar dari keadaan pekun dan halaju awal 10 cm/s. Anggapkan  $k_1 = 100$  N/cm,  $k_2 = 50$  N/cm,  $c = 1.5$  Ns/cm,  $m = 2$  kg.*

- (iii) Sketch the response for the displacement  $x(t)$  with at least **THREE** cycles.

*Lakarkan sambutan itu bagi anjakan  $x(t)$  dengan sekurang-kurangnya **TIGA** kitar.*

- (iv) By referring to your sketch above, determine the acceleration  $a$  as the mass passes by its equilibrium position for the first time.

*Dengan merujuk kepada lakaran di atas, tentukan pecutan  $a$  ketika jisim melalui titik seimbang pada kali pertama.*



**Figure 1(b)/Rajah 1(b)**

**(60 marks/markah)**

2. Suppose a truck passes on an uneven road carrying an artifact suspended in the container as illustrated in **Figure 2**, where the equivalent stiffness and damping constants are  $k$  and  $c$ , respectively.

*Andaikan sebuah lori melalui jalan yang tidak rata sambil membawa artifak yang tergantung di dalam kontennya seperti yang tertera di dalam **Rajah 2**, di mana kekakuan dan pemalar redaman ialah masing-masing  $k$  dan  $c$ .*

- (i) State **TWO** conditions of the road such that it can be modeled as having harmonic displacement.

*Berikan **DUA** syarat jalan itu supaya ia boleh dibuat model sebagai mempunyai anjakan harmonik.*

- (ii) State **TWO** parameters to model the profile of the road such that the truck can be regarded as undergoing harmonic displacement input.

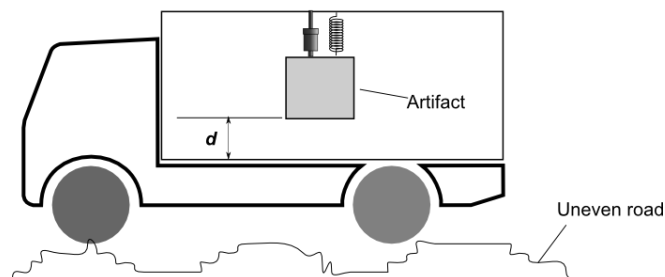
*Berikan **DUA** parameter untuk membuat model bentuk jalan supaya lori boleh dianggap mengalami masukan anjakan harmonik.*

- (iii) By assuming  $c$  to be negligible, formulate the range of allowable speed of the truck in kph on the uneven road so that the resulting vibration of the artifact does not damage it due to its impact to the floor of the container. Ignore the effect of the suspension system of the truck wheels.

*Dengan menganggap  $c$  boleh diabaikan, rumuskan julat kelajuan yang dibenarkan di dalam ksj bagi lori tersebut melalui jalan tidak rata itu supaya getaran yang terhasil tidak merosakkan artifak disebabkan oleh hentaman pada lantai kontena. Abaikan kesan sistem ampaian roda lori.*

- (iv) Provide at least **ONE** assumption about your model for the validity of the results you obtain in (iii).

*Berikan sekurang-kurangnya **SATU** andaian terhadap model kamu supaya hasil pengiraan dapat diterima.*



**Figure 2/Rajah 2**

(100 marks/markah)

3. (a) Consider the system shown in **Figure 3(a)**.

*Perhatikan sistem seperti yang ditunjukkan di dalam **Rajah 3(a)**.*

$$m_1 = 1 \text{ kg}, m_2 = 4m_1, k_1 = 1 \text{ N/m}; k_2 = 2k_1, k_3 = k_1.$$

- (i) Derive the matrix equation of motion of the system with **K** and **M** matrices.

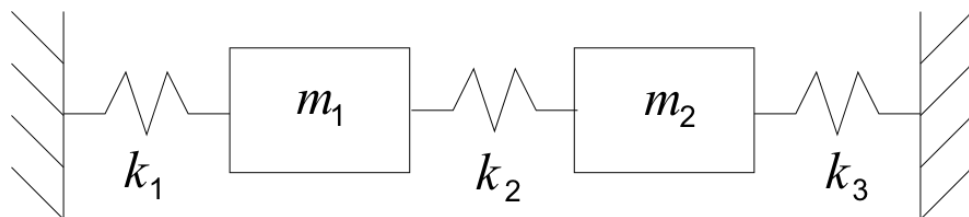
*Terbitkan persamaan pergerakan matriks bagi sistem itu dengan mengandungi matriks-matriks **K** dan **M**.*

- (ii) Derive the characteristic equation of the system from (i) by setting it as an eigenvalue problem.

*Terbitkan persamaan ciri sistem dengan cara menetapkan persamaan di dalam soalan (i) sebagai permasalahan nilai eigen.*

- (iii) Sketch the principal modes of vibration of the system.

*Lakarkan bentuk-bentuk mod sistem.*

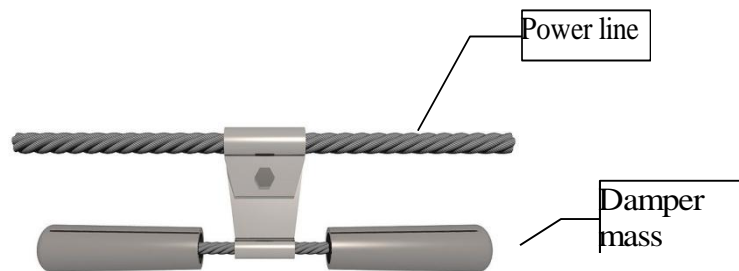


**Figure 3(a)/Rajah 3(a)**

**(70 marks/markah)**

- (b) A Stockbridge damper as depicted in **Figure 3(b)** is a damper that is commonly used to suppress wind-induced vibrations on power lines using the principle of dynamic vibration absorption. By way of 2-DOF model, free body diagram, and relevant plots, explain the working principles of this damper system.

*Peredam Stockbridge seperti yang tertera di dalam **Rajah 3(b)** adalah peredam yang biasa digunakan untuk mengurangkan getaran kabel kuasa disebabkan oleh tiupan angin. Dengan menggunakan model 2 darjah kebebasan, gambarajah jasad bebas, serta plot-plot yang berkaitan, terangkan prinsip-prinsip sistem redaman ini.*



**Figure 3(b)/Rajah 3(b)**

**(30 marks/markah)**

4. **Figure 4** shows a slender beam with length  $L$  and mass  $m$  mounted on two springs  $k_1$  and  $k_2$  at both ends. The beam has a centre of gravity located at  $L_1$  from the left spring,  $k_1$ . Formulate the equations of motion using these approaches:

*Rajah 4* menunjukkan sebatang rasuk langsing dengan panjang  $L$  dan jisim  $m$  disokong oleh dua spring dengan kekakuan  $k_1$  dan  $k_2$  di hujungnya. Rasuk itu mempunyai pusat graviti terletak pada jarak  $L_1$  daripada spring disebelah kiri. Terbitkan persamaan gerakan menggunakan pendekatan-pendekatan berikut:

- (a) (i) Newton's law of motion

*Hukum gerakan Newton*

- (ii) Lagrange's equation

*persamaan Lagrange*

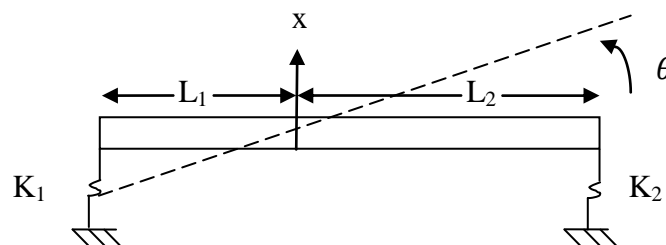
**(80 marks/markah)**

- (b) List down the steps needed to determine the value of  $L_1$  where the heaving motion is decoupled from the pitching motion (you do not have to solve the equation)

*Senaraikan langkah-langkah yang perlu untuk menentukan nilai  $L_1$  di mana gerakan melambung tidak digandingkan dengan gerakan mengangguk (anda tidak perlu selesaikan persamaan ini)*

$x_1$  and  $x_2$  are the vertical motion of the two ends. Use  $\theta$  to represent the angular motion of the beam.

*$x_1$  dan  $x_2$  adalah gerakan menegak hujung rasuk. Gunakan  $\theta$  bagi mewakili gerakan sudut rasuk.*



**Figure 4/Rajah 4**

**(20 marks/markah)**

5. The Laplace Transform can be used to determine the transfer function of a dynamic system and it is one of the methods apart from the solution in time domain to determine the response of the system for any given input.

*Kaedah jelmaan Laplace boleh digunakan untuk menentukan rangkap pindah bagi sebuah sistem dinamik dan ianya merupakan satu kaedah selain daripada penyelesaian di dalam domain masa untuk menentukan tindakbalas sistem apabila dikenakan sebarang bentuk daya.*

- (i) In your opinion in solving vibration problems, which method is preferable and why?

*Pada pendapat anda di dalam menyelesaikan masalah getaran, kaedah manakah yang lebih mudah digunakan dan kenapa?*

**(10 marks/markah)**

- (ii) Formulate the transfer function of a single degree of freedom system with mass  $m$ , stiffness  $k$  and damping  $c$  when subjected to a general forcing function,  $f(t)$

*Terbitkan rangkap pindah bagi sebuah system satu darjah kebebasan dengan jisim  $m$ , kekakuan  $k$  dan redaman  $c$  apabila dikenakan satu fungsi daya umum  $f(t)$*

**(20 marks/markah)**

- (iii) For the value of  $m=1$  kg,  $k=16$  N/m and  $c=1$  Ns/m, determine the poles of the system. What is the significance of this values?

*Bagi nilai-nilai  $m=1$  kg,  $k=16$  N/m and  $c=1$  Ns/m, tentukan nilai kutub-kutub sistem. Apakah kepentingan nilai ini?*

**(20 marks/markah)**

- (iv) Draw the block diagram of this system.

*Lukis rajah blok bagi sistem ini.*

**(20 marks/markah)**



- (v) Draw the equivalent **SIMULINK** diagram of the system. Please give brief explanation of each element.

*Lukis rajah **SIMULINK** yang setara bagi sistem ini dan terangkan dengan ringkas setiap elemen di dalam rajah tersebut.*

**(30 marks/markah)**

6. **Figure 6** shows a screw compressor unit which is commonly used in large manufacturing plant. As the engineer you are requested to come up with machine condition monitoring (MCM) plan based on vibration monitoring in order to ensure uninterrupted supply of compressed air and any shut down for maintenance can be carried out in an orderly and planned manner. In your proposal please indicate the following:

***Rajah 6** menunjukkan sebuah pemampat yang banyak digunakan di dalam kilang pembuatan. Sebagai jurutera anda telah di minta untuk mengemukakan plan cadangan pengawasan keadaan mesin berdasarkan pengukuran getaran untuk memastikan bekalan udara termampat yang berterusan dan sebarang penutupan mesin di lakukan di dalam keadaan yang teratur dan terancang. Di dalam cadangan anda nyatakan perkara-perkara berikut:*

- (i) The type of sensors and **FOUR** important location of the sensors (Please mark on the figure itself, you can detached this page and attached it together with your answer script). Also indicate whether these sensors are permanently installed or removable type.

*Jenis penderia dan **EMPAT** lokasi penting di mana ia di pasang (Tandakan pada rajah, anda di boleh menggunakan kertas soalan ini dan lampirkan bersama jawaban anda). Nyatakan juga samada penderia ini di pasang secara kekal ataupun boleh dialih.*

- (ii) The **THREE** expected defect obtained from the plant (sketch the expected output signals)

***TIGA** masalah atau kecacatan yang boleh berlaku kepada mesin (lakarkan isyarat yang keluar yang menggambarkan kecacatan ini)*

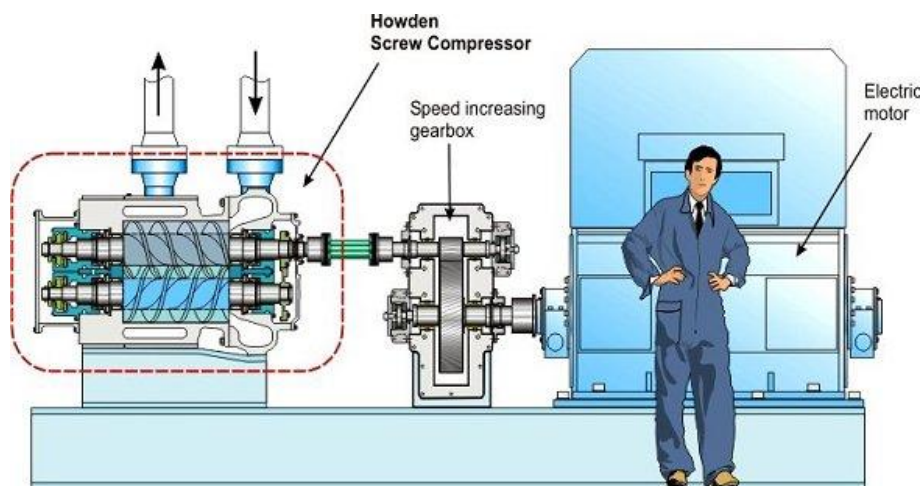
- (iii) Analysis of these signals as the plant deteriorated. Sketch the signals progression at before and after ten thousand hours of operation.

*Analisis isyarat apabila mesin mulai haus dan lusuh. Lakarkan trend isyarat yang mungkin diperolehi sewaktu mesin baru dan selepas sepuluh ribu jam beroperasi.*

- (iv) The expected remedial action from the analysis to ensure the plant to be operating smoothly.

*Nyatakan tindakan yang akan diambil daripada analisis yang dilakukan untuk memastikan mesin beroperasi dengan lancar.*

**(100 marks/markah)**



**Figure 6/Rajah 6**

## LAMPIRAN 1

**Vibration-related Formulas**

1.  $\zeta = \frac{c}{2m\omega_n}$ ;
2.  $x(t) = e^{-\zeta\omega_n t}(B_1 \cos \omega_d t + B_2 \sin \omega_d t)$ ;  $\omega_d = \sqrt{1 - \zeta^2}\omega_n$
3.  $\frac{X}{Y} = \left[ \frac{1 + (2\zeta r)^2}{(1 - r^2)^2 + (2\zeta r)^2} \right]^{1/2}$
4.  $\det \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} = ad - bc$