
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Peperiksaan Semester Kedua
Sidang Akademik 2006/2007

April 2007

EEM 232 – SISTEM MEKATRONIK

Masa: 3 jam

Sila pastikan bahawa kertas peperiksaan ini mengandungi LIMA BELAS muka surat dan SATU muka surat LAMPIRAN bercetak sebelum anda memulakan peperiksaan ini.

Kertas soalan ini mengandungi ENAM soalan.

Jawab LIMA soalan.

Mulakan jawapan anda untuk setiap soalan pada muka surat yang baru.

Agihan markah bagi setiap soalan diberikan di sudut sebelah kanan soalan berkenaan.

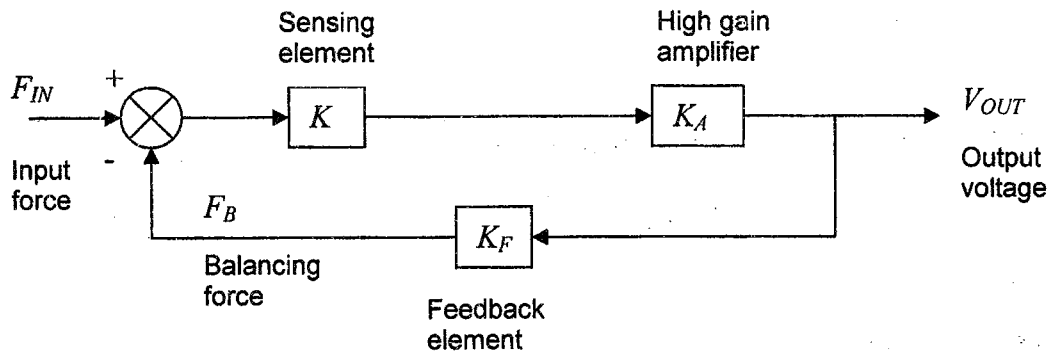
Jawab semua soalan dalam bahasa Malaysia.

1. (a) Bagi suap-balik negatif gandaan tinggi di dalam transduser daya gelung tertutup yang ditunjukkan di dalam Rajah 1(a) di bawah:

For a high –gain negative feedback in a closed loop force transducer shown in the following Figure 1(a):

- (i) Buktikan bahawa $V_{out} \approx \frac{1}{K_F} F_{IN}$, nyatakan keadaan rekabentuk anda.

Prove that $V_{out} \approx \frac{1}{K_F} F_{IN}$, state your design condition.



Rajah 1(a)
Figure 1(a)

- (ii) Sekiranya K digantikan dengan $K+K_M|M$, buktikan bahawa $V_{out} \approx \frac{1}{K_F} F_{IN}$, nyatakan keadaan rekabentuk anda.

If K is replaced by $K+K_M|M$, prove that $V_{out} \approx \frac{1}{K_F} F_{IN}$, state your design condition.

(30%)

- (b) Satu sistem pengukuran daya mengandungi elemen-elemen linear dan mempunyai kepekaan keseluruhan keadaan mantap bernilai satu. Sistem dinamik ditentukan oleh fungsi pindah tertib kedua bagi elemen penerima yang mempunyai frekuensi tabii $\omega_n = 40$ rad/s dan nisbah redaman $\xi=0.1$. Kira keluaran sistem terhadap isyarat daya masukan berkala ditunjukkan oleh persamaan 1.

A force measurement system consists of linear elements and has an overall steady-state sensitivity of unity. The dynamics of the system are determined by the second order transfer function of the sensing element which has a natural frequency $\omega_n = 40$ rad/s and a damping ratio $\xi=0.1$. Calculate the system output corresponding to the periodic input force signal given in equation (1):

$$F(t) = 50 \left\{ \sin 10t + \frac{1}{3} \sin 30t \right\} \quad \text{Equation (1)}$$

$$\text{Given: } \Delta O(t) = \sum_{n=1}^{n=\infty} \hat{I}_n |G(jn\omega)| \sin(n\omega_1 t + \phi_n)$$

$$\text{Amplitude ratio} = |G(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{\left[\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_n^2} \right)^2 + 4\xi^2 \frac{\omega^2}{\omega_n^2} \right]}}$$

$$\text{Phase difference} = \arg G(j\omega) = -\tan^{-1} \left[\frac{2\xi\omega / \omega_n}{1 - \omega^2 / \omega_n^2} \right]$$

(40%)

...4/-

- (c) Konsep impedan boleh digunakan kepada sistem elektrik, mekanik, bendalir dan terma. Bagi sistem mekanik jisim adalah setara dengan induktan, pemalar redaman setara dengan rintangan elektrik dan 1/kekakuan setara dengan kapasitan elektrik.

Buktikan kenyataan di atas dengan bantuan lakaran yang sesuai.

The concept of impedance can be applied to electrical, mechanical, fluidic and thermal systems. For a mechanical system, mass is analogues to electrical inductance, damping constant is analogues to electrical resistance and 1/stiffness is analogues to electrical capacitance.

Prove the above statement with the help of suitable sketches.

(30%)

2. (a) Buktikan bahawa pembebanan dinamik bagi sistem mekanikal yang ditunjukkan di dalam Rajah 2(a) ialah seperti berikut:-

Prove that the dynamic loading for mechanical system shown in Figure 2(a) is given by:

$$F_S(s) = \frac{Z_{MS}(s)}{Z_{MS}(s) + Z_{MP}(s)} F(s)$$

Di mana

Where

F ialah daya sebenar

F is the true force

F_s ialah daya yang diukur

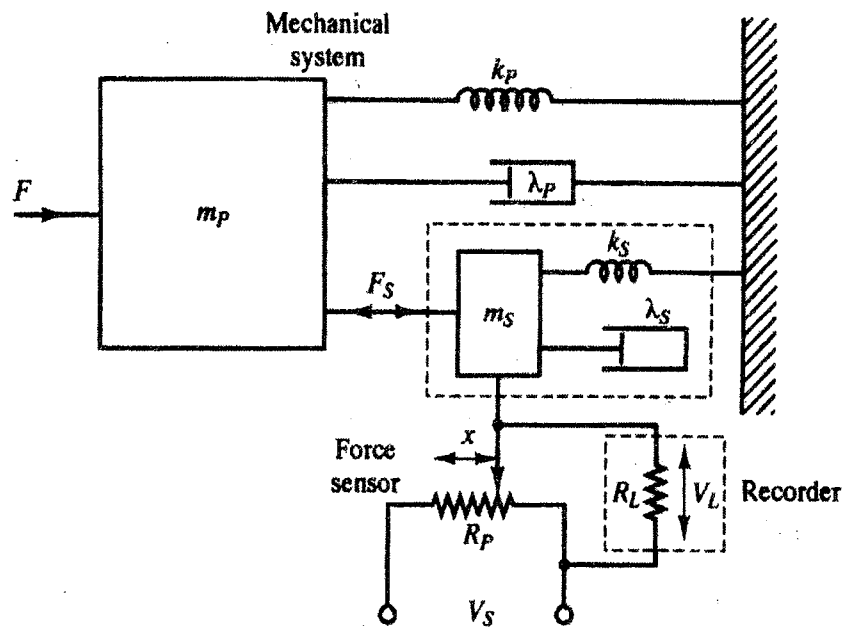
F_s is the measured force

Z_{MP} ialah impedan proses

Z_{MP} is the process impedance

Z_{MS} ialah impedan penerima

Z_{MS} is the sensor impedance



Rajah 2(a)
Figure 2(a)

(30%)

...6/-

- (b) Apakah yang dimaksudkan dengan pengecaman sistem ukuran? Terangkan bagaimana sistem tertib pertama dan sistem tertib kedua dapat dicamkan.

What is meant by the identification of measurement system? Explain how to identify first order and second order systems.

(30%)

- (c) Satu penderia sesaran mempunyai julat input di antara 0.0 cm sehingga 6.0 cm apabila dibekalkan dengan voltan bekalan piawai $V_S = 5$ volt. Menggunakan data kalibrasi di dalam Jadual 2(c), kira

A displacement sensor has an input range from 0.0 cm to 6.0 cm when supplied with standard voltage supply, $V_S = 5$ volts. Using calibration data in Table 2(c), calculate

- (i) Tak-lineariti maksimum pada pesongan skala penuh
Nonlinearity maximum at full scale deflection
- (ii) Kepekaan linear ideal sistem pengukuran
Ideal linear sensitivity measurement system
- (iii) Pemalar gandingan alam sekitar K_I dan K_M yang berkaitan dengan perubahan voltan bekalan
Environmental coupling constants K_I and K_M related to the change in voltage supply

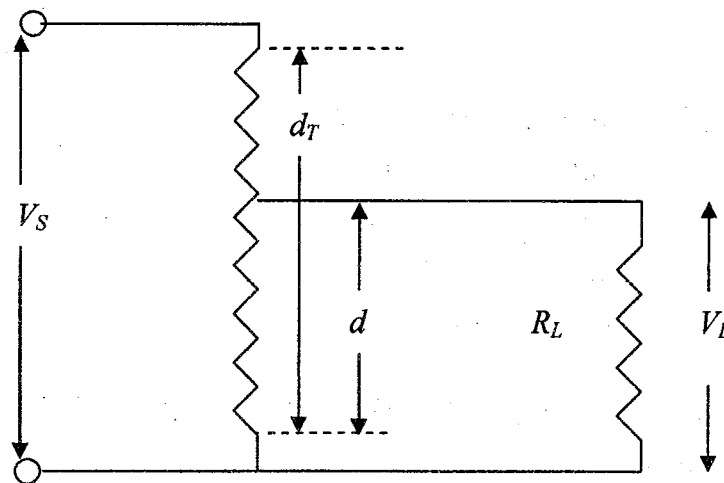
Sesaran (cm)	0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
Voltan output, mV ($V_S = 5$ volt)	0	33	64	88	102	111	116
Voltan output, mV ($V_S = 6$ volt)	15	75	100	123	140	142	155

Jadual 2(c)
Table 2(c)

(40%)
...7/-

3. (a) Terbitkan persamaan yang memberikan hubungan antara voltan dan sesaran (V_L dan d) bagi satu potensiometer yang disambungkan kepada satu beban seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 3(a).

Derive the equation that gives the relationship between voltage and displacement (V_L and d) for a potentiometer connected to a load shown in Figure 3(a).



Rajah 3(a)
Figure 3(a)

(40%)

- (b) Satu pergerakan linear bagi satu robot *Cartesian* direkodkan oleh satu perintang boleh-ubah penderia sesaran yang disambung kepada satu perekod. Perintang boleh-ubah tersebut panjangnya 25 cm dan mempunyai ciri sesaran rintangan yang linear. Perintang-perintang boleh-ubah yang mempunyai kadar kuasa maksima 5 W and nilai rintangan dari 250 ohm sehingga 2500 ohm tersedia untuk digunakan. Perekod mempunyai rintangan sebanyak 5000 ohm dan ralat tak-linear bagi sistem mesti tidak melebihi 2% dari skala penuh. Dapatkan:

A linear motion of a Cartesian robot is recorded using a potentiometer displacement sensor connected to a recorder. The potentiometer is 25 cm long and has linear resistance displacement characteristics. A set of potentiometers with maximum power rating of 5 W and resistance values ranging from 250 ohm to 2500 ohm is available. The recorder has a resistance of 5000 ohm and the non-linear error of the system must not exceed 2% of full scale. Find:

- (i) Maksimum kepekaan bagi perintang boleh-ubah yang boleh diperolehi

The maximum potentiometer sensitivity that can be obtained.

- (ii) Rintangan perintang boleh-ubah dan bekalan kuasa yang diperlukan untuk mencapai kepekaan maksima.

The required potentiometer resistance and supply voltage in order to achieve maximum sensitivity.

(20%)

- (c) Satu sistem pengukuran suhu mengandungi kepekaan keadaan mantap bernilai satu dan dinamik sistem tersebut ditentukan oleh fungsi pindah tertib pertama bagi elemen penderia. Pada $t=0$, elemen penderia dipindahkan dari udara bersuhu 20°C ke air yang mendidih. Satu minit kemudian, elemen tersebut dipindahkan kembali ke udara. Menggunakan data yang diberikan di bawah, kira ralat dinamik sistem pada masa: $t=10, 20, 50, 120$ and 300 s.

A temperature measurement system consists of steady-state sensitivity of unity and the dynamics of the system is determined by the first-order transfer function of the sensing element. At $t=0$, the sensing element is suddenly transferred from air at 20°C to boiling water. One minute later the element is suddenly transferred back to air. Using the data given below, calculate the system dynamic error at the following times: $t=10, 20, 50, 120$ and 300 s.

Data penderia
Sensor data

Jisim = 5×10^{-2} kg
Mass = 5×10^{-2} kg

Luas permukaan = 10^{-3} m²
Surface area = 10^{-3} m²

Haba tentu = $0.2 \text{ kg}^{-1}\text{C}^{-1}$
Specific heat = $0.2 \text{ kg}^{-1}\text{C}^{-1}$

Pekali pemindahan haba bagi udara = $0.2 \text{ Wm}^{-2}\text{C}^{-1}$
Heat transfer coefficient for air = $0.2 \text{ Wm}^{-2}\text{C}^{-1}$

Pekali pemindahan haba bagi air = $1.0 \text{ Wm}^{-2}\text{C}^{-1}$
Heat transfer coefficient for water = $1.0 \text{ Wm}^{-2}\text{C}^{-1}$

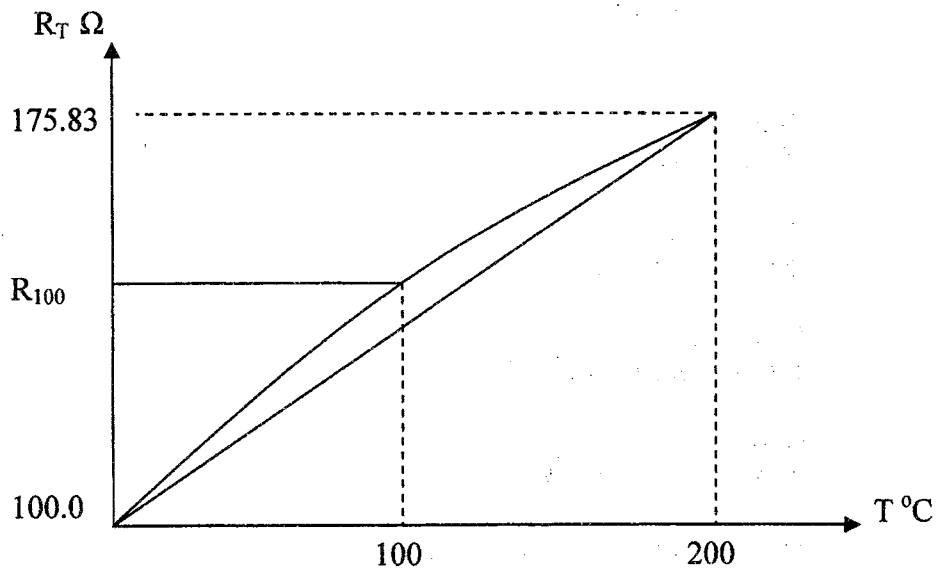
(40%)

...10/-

4. (a) Sebuah penderia rintangan platinum untuk mengukur suhu diantara 0 dan 200 °C. Nilai maksima "non-linearity" pada 100 °C sebagai peratus daripada julat pengukuran penuh (*full-scale deflection*) adalah 0.7649% Ω. Rajah 4(a) dibawah menunjukkan ciri-ciri penderia tersebut. Diberi bahawa rintangan R_T pada T °C adalah;

A platinum resistance sensor is to be used to measure temperature between 0 and 200 °C. The maximum non-linearity at 100 °C as a percentage of full-scale deflection is 0.7649% Ω. Figure 4(a) below shows the profile of the sensor. Given that the resistance R_T at T °C by;

$$R_T = R_0(1 + \alpha T + \beta T^2)$$



Rajah 4(a) Penderia suhu Platinum
Figure 4(a) Platinum sensor temperature

Dengan menggunakan Rajah 1 diatas;

Using Figure 1 above;

- (i) Kira julat pengukuran penuh.
Determine the measurement span or full-scale deflection.
[10%]
- (ii) Cari nilai rintangan "non-linear" pada 100 °C (R_{100})
Determine the non-linear resistance value at 100 °C (R_{100})
[10%]
- (iii) Cari nilai untuk R_0 dan R_{200}
Find the values for R_0 and R_{200}
[20%]
- (iv) Cari nilai untuk α dan β .
Find the values α and β .
[20%]

- (b) Dalam amalan penderia rintangan platinum disukat menggunakan jaringan rintangan "Wheatstone bridge" seperti dalam Rajah 4(b). G adalah "galvanometer".

In practice the platinum resistance sensor is measured using a Wheatstone bridge of pure resistors network as shown in Figure 4(b). G is the galvanometer.

- (i) Terangkan bagaimana jaringan ini dapat mencapai keadaan yang seimbang.

Explain how the network can achieve balanced condition.
[10%]
- (ii) Jelmakan persamaan untuk menyukat perintang supaya

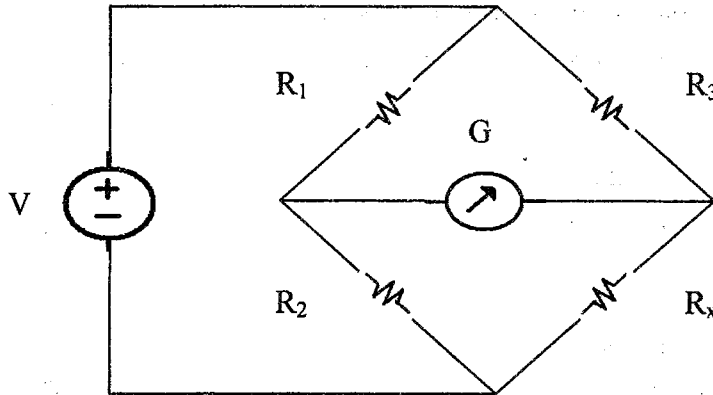
Derive the expression for resistance measurement such that

$$R_x = \frac{R_3}{R_1} R_2$$

[20%]
... 12/-

- (iii) Terangkan bagaimana perintang penderia disukat. Anggap R_x sebagai penderia.

Explain how the sensors' resistance can be measured. Assume R_x is the sensor. [10%]



Rajah 4(b) Jejambat Wheatstone
Figure 4(b) Wheatstone bridge

- 5. Sebuah penderia dielektrik kapasitan (*dielectric capacitance*) untuk menyukat jarak mengandungi dua piring logam segiempat sama dengan dimensi 5 cm, diasingkan diantara satu dengan yang lain dengan jarak 1 mm. Sehelai bahan dielektrik setebah 1 mm mempunyai luas separuh dari luas keping piring logam tersebut boleh digerakkan diantara dua keping piring tersebut seperti dalam Rajah 5(a) (pandangan tepi) dan Rajah 5(b) (pandangan atas). Adalah diberikan dielektrik pemahar untuk udara (ϵ_1) adalah 1 dan dielektrik bahan (ϵ_2) adalah 4;

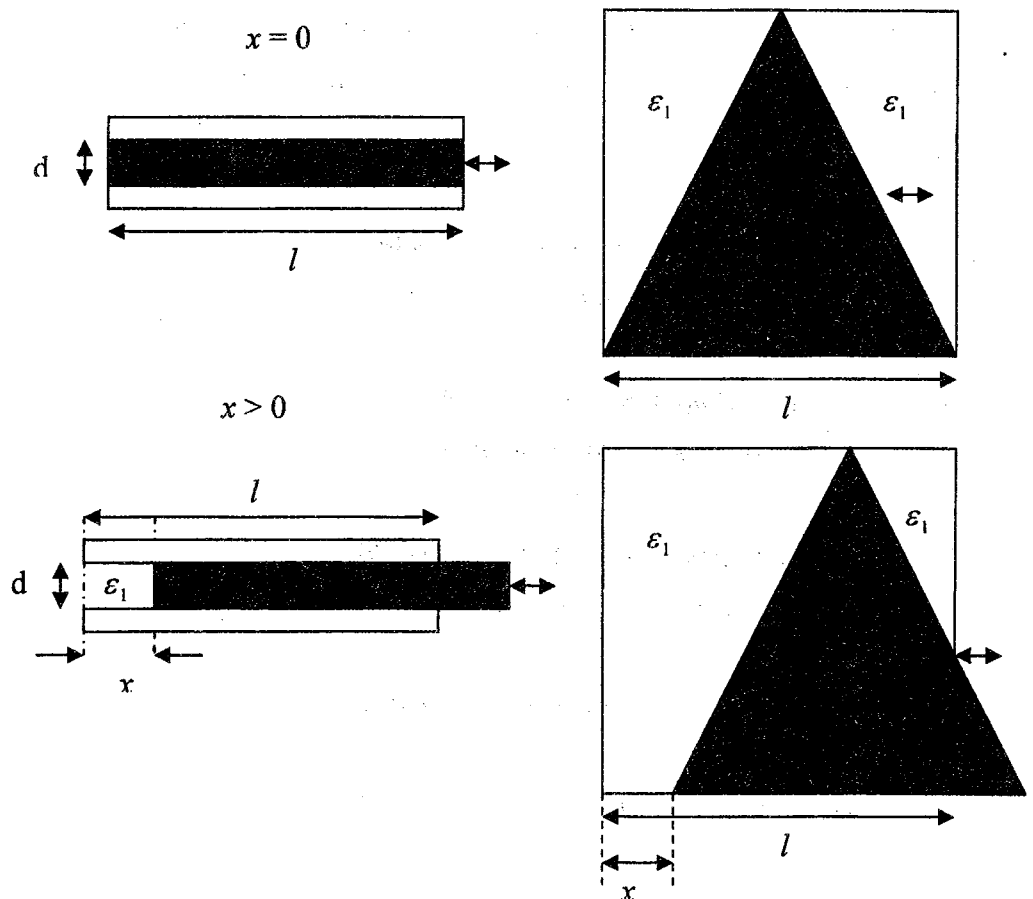
A variable dielectric capacitance displacement sensor consists of two square metal plates of side 5 cm, separated by a gap of 1 mm. A sheet of dielectric material 1 mm thick and having area half the area of the plates can be slid between them as shown in Figure 5(a) (side views) and Figure 5(b) (top view). Given that the dielectric constant of air (ϵ_1) is 1 and that of the dielectric material (ϵ_2) is 4;

- (a) Berikan ungkapan bagi kapasitan pada $x = 0.0$ cm
Give the expression for capacitance at $x = 0.0$ cm

[20%]

- (b) Berikan ungkapan bagi kapasitan pada $x = 2.5$ cm
Give the expression for capacitance at $x = 2.5$ cm [20%]
- (c) Berikan ungkapan bagi kapasitan pada $x = 5.0$ cm
Give the expression for capacitance at $x = 5.0$ cm [20%]
- (d) Berikan ungkapan umum bagi kapasitan pada semua nilai x
Give the general expression for capacitance at any value of x [20%]
- (e) Kira nilai kapasitan bila memasukkan pergerakan x adalah 0.0 dan 5.0 cm.
Calculate the capacitance when the input displacement x is 0.0 and 5.0 cm.

[20%]



Rajah 5(a) Pandangan tepi
Figure 5(a) Side view

Rajah 5(b) Pandangan atas
Figure 5(b) Top view

6. Sebuah penderia bolehubah keenganan mengandungi teras, bolehubah jarak udara, dan "armature" seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 6. Teras besi mempunyai diameter 1 cm dan ketelapan relatif 100, dibentuk menjadi segiempat dengan dimensi 2 cm dan 4 cm. Gegendang dililit sebanyak 500 lilitan pada teras. "Armature" adalah piring besi yang mempunyai ketebalan 0.5 cm dan ketelapan relative 100. Dengan mengangap tiada fluk magnet yang putus di penjuru segiempat, dan dengan angapan ketelapan relatif udara μ_r adalah 1.0, dan ketelapan vakum μ_0 is $4\pi \times 10^{-7} \text{ Hm}^{-1}$;

A variable reluctance sensor consists of a core, a variable air gap and an armature is shown in Figure 6. The core is a steel rod of diameter 1 cm and relative permeability 100, bent to form a rectangular of size 2 cm by 4 cm. A coil of 500 turns is wound onto the core. The armature is a steel plate of thickness 0.5 cm and relative permeability 100. Assuming that there is no magnetic flux discontinuity at the corner of rectangular core, and assuming the relative permeability of air μ_r is 1.0, and the permeability of free space μ_0 is $4\pi \times 10^{-7} \text{ Hm}^{-1}$;

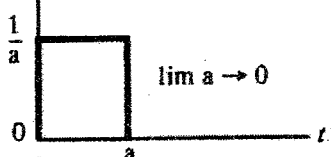


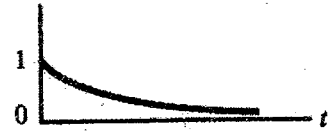
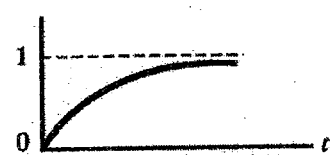

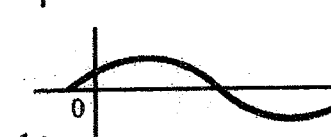
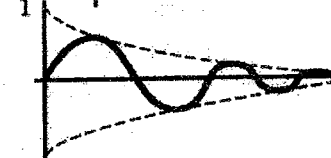
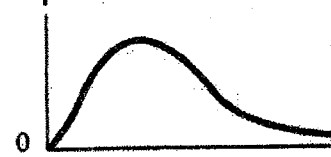
- (a) Berikan ungkapan keenganan untuk teras.
Give the expression for reluctance of the core . [20%]
- (b) Berikan ungkapan keenganan untuk jarak udara.
Give the expression for reluctance of the air gap. [20%]
- (c) Berikan ungkapan keenganan untuk "armature".
Give the expression for reluctance of the armature. [20%]
- (d) Kira induktan bagi penderia sekiranya jarak udara adalah 1 mm dan 3 mm.
Calculate the inductance of the sensor for air gap of 1 mm and 3 mm.

[20%]

... 15/-

Table 4.1 Laplace transforms of common time functions $f(t)$

$$\mathcal{L}[f(t)] = \bar{f}(s) = \int_0^{\infty} e^{-st} f(t) dt$$

Function	Symbol	Graph	Transform
1st Derivative	$\frac{d}{dt} f(t)$		$s\bar{f}(s) - f(0-)$
2nd Derivative	$\frac{d^2}{dt^2} f(t)$		$s^2\bar{f}(s) - sf(0-) - \dot{f}(0-)$
Unit impulse	$\delta(t)$		1
Unit step	$\mu(t)$		$\frac{1}{s}$
Exponential decay	$\exp(-\alpha t)$		$\frac{1}{s + \alpha}$
Exponential growth	$1 - \exp(-\alpha t)$		$\frac{\alpha}{s(s + \alpha)}$
Sine wave	$\sin \omega t$		$\frac{\omega}{s^2 + \omega^2}$
Phase shifted sine wave	$\sin(\omega t + \phi)$		$\frac{\omega \cos \phi + s \sin \phi}{s^2 + \omega^2}$
Exponentially damped sine wave	$\exp(-\alpha t) \sin \omega t$		$\frac{\omega}{(s + \alpha)^2 + \omega^2}$
Ramp with exponential decay	$t \exp(-\alpha t)$		$\frac{1}{(s + \alpha)^2}$

* Initial conditions are at $t = 0-$, just prior to $t = 0$