

---

# UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

First Semester Examination  
2013/2014 Academic Session

December 2013 / January 2014

## EEK 474 – ELECTRICAL MACHINE DESIGN [REKABENTUK MESIN ELEKTRIK]

Duration 3 hours  
Masa : 3 jam

---

Please check that this examination paper consists of **TEN (10)** pages of printed material before you begin the examination.

*[Sila pastikan bahawa kertas peperiksaan ini mengandungi **SEPULUH (10)** muka surat bercetak sebelum anda memulakan peperiksaan ini]*

**Instructions:** This question paper consists **SIX (6)** questions. Answer **FIVE (5)** questions. All questions carry the same marks.

**[Arahan:** Kertas soalan ini mengandungi **ENAM (6)** soalan. Jawab **LIMA (5)** soalan. Semua soalan membawa jumlah markah yang sama]

Answer to any question must start on a new page.

*[Mulakan jawapan anda untuk setiap soalan pada muka surat 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]**

1. (a) Jangka hayat suatu mesin bergantung kepada jangka hayat penebatannya. Kenaikan suhu yang berlebihan akan menyebabkan kegagalan penebatan. Taksirkan keadaan ini dengan menghubungkaitkannya dengan kuasa kuda terkadar, arus dan voltan yang dibekalkan pada plat nama mesin tersebut.

*Life of a machine depends upon the life of the insulation. The excessive temperature rise may cause insulation failure. Assess the situation by relating it to the rated horsepower, current and voltage that are provided on the machine nameplate.*

(30 markah/marks)

- (b) Sebuah motor aruhan dengan kehilangan kuasa purata sebanyak 73 W mempunyai suhu belitan sebanyak 100°C apabila suhu ambien adalah 35°C.

*An induction motor with its average power loss of 73 W has a winding temperature of 100°C when the ambient temperature is 35°C.*

- (i) Hitung rintangan haba berkesan,  $R$  (°C/W).

*Calculate its effective thermal resistance,  $R$  (°C/W).*

- (ii) Jika kapasiti haba,  $(C)$  bagi motor, ialah 1.4 kJ/°C, hitung pemalar-masa haba yang berkaitan dengan keadaan dalam 1b(i).

*If the thermal capacity  $(C)$  of the motor, is 1.4 kJ/°C, calculate the thermal time-constant corresponding to the condition in 1b(i).*

- (iii) Sekiranya kecekapan motor ialah 85%, apakah kuasa keluaran maksimum yang boleh dikekalkan dalam masa 25 minit tanpa melampaui kenaikan suhu terkadar? [Diberi faktor lesapan beban lebih bagi denyut tunggal,  $k^2 = \frac{1}{1 - e^{-t_{ON}/\tau}}$  ]

*If the efficiency of the motor is 85%, what is the maximum power output that can be sustained for 25 min without exceeding the rated temperature rise? [Given the dissipation overload factor for a single pulse,*

$$k^2 = \frac{1}{1 - e^{-t_{ON}/\tau}} ]$$

- (iv) Apakah masa maksimum bagi motor yang beroperasi pada 125% kuasa terkadar tanpa melampaui kenaikan suhu terkadar? (Andaikan permulaan yang sejuk)

*What is the maximum time for which the motor can operate at 125% of the rated power without exceeding the rated temperature rise? (Assume cold start)*

(40 markah/marks)

- (c) Bagaimanakah kaedah-kaedah penyejukan ditandai? Bincang berkenaan sistem penyejukan yang dilaksanakan terhadap motor aruhan AU.

*How the cooling methods are designated? Discuss the cooling system that is employed to an AC induction motor.*

(30 markah/marks)

2. (a) Apakah beban magnet dan beban elektrik? Bincangkan bagaimana nilai beban magnet dan elektrik mempengaruhi saiz suatu mesin.

*What is magnetic and electric loading? Discuss how the value of magnetic and electric loading will influence the size of the machine.*

(30 markah/marks)

- (b) Satu motor segerak 1800 ppm, 4-kutub, 60 Hz mempunyai garis pusat purata sebanyak 27 sm dan panjang paksinya ialah 32 sm. Belitan pemutar mempunyai 786 lilitan. Dengan mengandaikan bahawa pertimbangan haba menghadkan arus pemutar kepada 18 A, dan ketumpatan fluks sela udara dihadkan kepada 1.5 T, anggarkan kilas maksimum dan kuasa keluaran yang diharapkan daripada mesin ini.

*A 1800 rpm, 4-pole, 60 Hz synchronous motor has an average rotor diameter of 27 cm and its axial length is 32 cm. The rotor winding has 786 turns. Assuming the thermal consideration limit the rotor current to 18 A, and the air gap flux density is limited to 1.5 T, estimate the maximum torque and the power output expected from this machine*

(30 markah/marks)

- (c) Bandingkan di antara bahan magnet lembut dan keras. Pilih satu contoh daripada bahan magnet dan bincangkan ciri, keupayaan, aplikasi, kekuatan dan kelemahannya.

*Compare between the soft and hard magnetic material. Choose one example of magnetic material and discuss its feature, capability, applicability, strength and weaknesses.*

(40 markah/marks)

...5/-

3. (a) Kenalpasti jenis-jenis kehilangan yang wujud dalam mesin elektrik dan berikan cadangan bagaimana untuk mengurangkan kehilangan-kehilangan tersebut.

*Identify the types of losses that occur in electrical machines and give suggestions how these losses can be reduced.*

(40 markah/marks)

- (b) Suatu mesin elektrik diletakkan di dalam satu panel logam tertutup sepenuhnya yang berukuran 120 sm panjang, 60 sm lebar dan 240 sm tinggi. Panel tersebut dicat dengan enamel tanpa-metalik. Satu penghembus yang diletakkan di dalam panel tersebut memastikan suhu di dalamnya adalah pada paras seragam sepanjang masa operasi. Dengan mengandaikan bahawa haba dilepaskan melalui olakan dan radiasi dari semua sisi kecuali bahagian bawah, lakarkan graf jumlah kuasa yang dilepaskan melawan suhu di dalam panel pada 35°C, 40°C, 45°C dan 50°C. Anggarkan suhu di dalam panel sekiranya lebih kurang 2 kW haba telah dilesapkan. Panel tersebut kemudiannya diperbaharui dengan cat aluminium. Taksirkan situasi ini dengan merujuk kepada suhu, kehilangan haba dan keadaan mesin di dalam panel tersebut. [Pemalar radiasi bagi enamel tanpa-metalik =  $5 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$  dan cat aluminium =  $3 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$  ; suhu ambien ialah 30°C]

*An electric machine is placed inside a totally closed metal panel having a 120 cm length, 60 cm width and 240 cm height. The panel is painted with non-metallic enamel. A blower inside the panel keep the inner temperature at a uniform level throughout the operation. By assuming that the heat is dissipated by convection and radiation from all sides except the bottom, plot a graph of a total power released over the temperature inside the panel at 35°C, 40°C, 45°C and 50°C. Estimate the temperature inside the panel if approximately 2 kW of heat are dissipated. The panel is later refurbished to aluminium paint. Evaluate the situation with respect to the temperature, heat loss and the condition of the machine inside the panel. [Radiation constant for non-metallic enamel =  $5 \times 10^{-8}$  W/(m<sup>2</sup>K<sup>4</sup>) and aluminium paint =  $3 \times 10^{-8}$  W/(m<sup>2</sup>K<sup>4</sup>) ; The ambient temperature is 30°C]*

(60 markah/marks)

4. (a) Apakah perbezaan antara motor segerak 3-fasa dan motor aruhan 3-fasa? Dari segi asas pembinaan dan juga cara-cara mula operasi.

*What are the differences between 3-phase synchronous motor and 3-phase induction motor? In terms of basic constructions and also methods of starting.*

(25 markah/marks)

- (b) Penjana segerak 3-fasa, 50Hz, 6-kutub mempunyai 36 stator slot. Ia mempunyai belitan dua lapisan dengan gegelung 10 lilitan setiap satu. Fluks setiap kutub ialah 0.012Wb (teragih sinusoid dalam sela udara).

*A 3-phase, 50Hz, 6-pole synchronous generator has 36 stator slots. The generator has double-layer windings with full-pitch coils of 10 turns each. The flux per pole is 0.012Wb (sinusoidally distributed in the airgap)*

...7/-

- (i) Lakarkan kedudukan gegelung untuk stator. Untuk menjadikan kurang rumit, sila tunjukkan di mana semua gegelung yang terletak di atas 2-pasang kutub sahaja.

*Sketch the winding layout for this stator. For simplicity, just show those coils which are located over 2 pole-pairs only.*

(25 markah/marks)

- (ii) Tentukan faktor belitan  $K_w$

*Determine the winding factor  $K_w$*

(25 markah/marks)

- (iii) Tentukan nilai rms untuk voltan fasa dan voltan talian-talian untuk penjana ini.

*Determine the rms value of the phase voltage and line-line voltage for this generator.*

(25 markah/marks)

5. (a) Apakah tork penugalan di dalam motor magnet kekal segerak? Berikan dua cara yang boleh digunakan untuk mengurangkan tork penugalan.

*What is cogging torque in permanent magnet synchronous motors? Give two methods that are normally used to reduce cogging torque.*

(20 markah/marks)

- (b) Anda sedang merencanakan motor magnet kekal segerak 3-fasa untuk aplikasi pemaju-servo. Lakaran gegelung ialah salah satu dari ciri penting rekabentuk bagi meningkatkan prestasi motor.

*You are designing a 3-phase permanent magnet synchronous motor for servo-drive application. The winding arrangement is one of the important design keys in improving the motor performance.*

- (i) Andaikan kamu memilih motor 9-slot dan 8-kutub, lakarkan kedudukan gegelung untuk stator

*Assuming that you choose 9-slot and 8-pole motor, sketch the winding layout for the stator.*

(20 markah/marks)

- (ii) Kirakan faktor belitan  $K_w$  pada  $n=1, 3, 5$  dan  $7$  untuk bahagian (b)(i)

*Calculate the winding factor  $K_w$  at  $n=1, 3, 5$  and  $7$  respectively for part (b)(i)*

(20 markah/marks)

- (iii) Andaikan motor 12-slot dan 10-kutub, lakarkan kedudukan gegelung untuk stator jika kamu menggunakan belitan satu lapis.

*Assuming 12-slot and 10-pole motor, sketch the winding layout for the stator if you use single-layer winding arrangement.*

(20 markah/marks)

- (iv) Kirakan faktor belitan  $K_w$  pada  $n=1, 3, 5$  dan  $7$  untuk bahagian (b)(iii)  
*Calculate the winding factor  $K_w$  at  $n=1, 3, 5$  and  $7$  respectively for part (b)(iii).*

(20 markah/marks)

6. Dimensi-dimensi penting dan parameter bagi motor magnet kekal segerak 3-fasa 9-slot/8-kutub seperti yang diberikan dalam Jadual 1.

*Important dimensions and parameters for a 3-phase 9-slot/8-pole permanent magnet synchronous motor are shown in Table 1.*

Jadual 1

Table 1

Stator outer radius $R_{so}$	60 mm
Stator inner radius $R_{si}$	35 mm
Rotor outer radius $R_r$	31 mm
Magnet thickness $l_m$	3 mm
Airgap thickness $l_g$	1 mm
NdFeB remanance $B_r$	1.26 T
NdFeB relative permeability $\mu_r$	1.05
Active length $l_a$	50 mm
Saturation flux density in iron $B_{sat}$	1.6 T

- (a) Kirakan lebar badan gigi stator  $W_{tb}$  dan tinggi yoke stator  $W_{sy}$   
*Calculate the tooth body width  $W_{tb}$  and stator yoke height  $W_{sy}$*

(25 markah/marks)

- (b) Kirakan tinggi 'tip' gigi  $W_{tt}$ , kedalaman slot  $d_s$  dan luas slot  $A_{slot}$   
*Calculate the tooth tip height  $W_{tt}$ , slot depth  $d_s$  and slot area  $A_{slot}$*   
(25 markah/marks)
- (c) Jika diameter 0.75mm wayar kopper digunakan untuk lilitan dan 35% faktor muatan digunakan, kirakan bilangan jumlah kitaran lilitan setiap fasa  $N_{ph}$   
*If 0.75mm diameter of copper wire is used for the winding and 35% packing factor is used, calculate total number of winding turns per phase  $N_{ph}$*   
(25 markah/marks)
- (d) Anggarkan voltan rms bagi emf fasa jika motor tersebut berpusing dengan kelajuan segerak pada frekuensi 50Hz  
*Estimate the rms voltage of the phase emf if the motor is rotating at synchronous speed of 50Hz frequency.*  
(25 markah/marks)