

---

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

First Semester Examination  
2016/2017 Academic Session

December 2016 / January 2017

**EEK 474/3 – ELECTRICAL MACHINE DESIGN**  
**[REKABENTUK MESIN ELEKTRIK]**

Duration : 3 hours  
[Masa : 3 jam]

---

Please check that this examination paper consists of **ELEVEN (11)** pages of printed material before you begin the examination. English version from page **TWO (2)** to page **SIX (6)** and Malay version from page **SEVEN (7)** to page **ELEVEN (11)**.

*Sila pastikan bahawa kertas peperiksaan ini mengandungi **SEBELAS (11)** muka surat bercetak sebelum anda memulakan peperiksaan ini. Versi Bahasa Inggeris daripada muka surat **DUA (2)** sehingga muka surat **ENAM (6)** dan versi Bahasa Melayu daripada muka surat **TUJUH (7)** sehingga muka surat **SEBELAS (11)**.*

**Instructions:** This question paper consists of **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 baharu].*

**“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].***

**ENGLISH VERSION**

1. A 10 kW step down single-phase transformer need to be designed to work on rated voltage of 3300/230 volt, 50 Hz. The transformer core is made up of steel casting material that having the value of maximum flux density of 1.2 Wb/m<sup>2</sup> and effective cross-sectional area of 150 cm<sup>2</sup>.

Determine:

- (a) The suitable values of high voltage and low voltage turns. (30 marks)

- (b) Sizes of window “ a”, “b”, “c”. and “d” (refer to Figure 1) . Use conductor current ratings such as shown in Table 1. (70 marks)

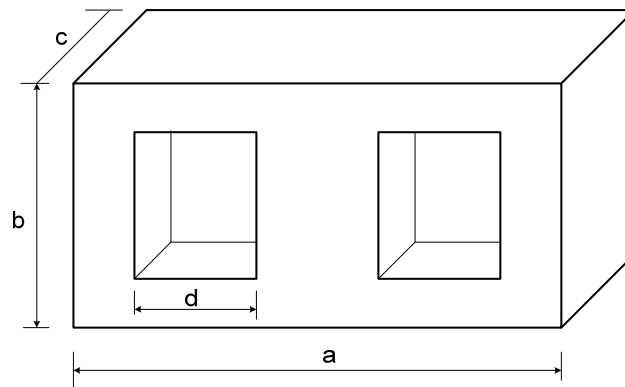


Figure 1

Table 1. Conductor Current Rating

Nom. cross-section	Max. permitted current rating	Nom. cross-section	Max. permitted current rating
mm <sup>2</sup>	approx. A*	mm <sup>2</sup>	approx. A*
0.10	5	25	150
0.14	6	35	195
0.20	7	50	250
0.25	9	70	300
0.35	10	95	360
0.50	12.5	120	420
0.75	15	150	480
1	18	185	570
1.50	21	240	670
2.50	30	300	780
4	40	400	950
5.25	44	500	1100
6	55	625	1300
8	70	800	1500
10	85	1000	1800
16	120		

\* Measured at 35 °C room temperature and max. permitted conductor temperature of 70 °C

2. A step down three-phase transformer in  $\Delta/Y$  connection has to be designed to work on rated voltage of 1100/415 Volt and frequency of 50Hz. The transformer core material used is steel with B-H curve show in Figure 2 below. The effective cross-sectional area the transformer is  $250 \text{ cm}^2$ . Assumed that the maximum voltage drop is 5%.

Determine :

- (a) Number of primary and secondary turns of transformer

(50 marks)

- (b) The value of the maximum flux density of cross-sectional area that the transformer.

(50 marks)

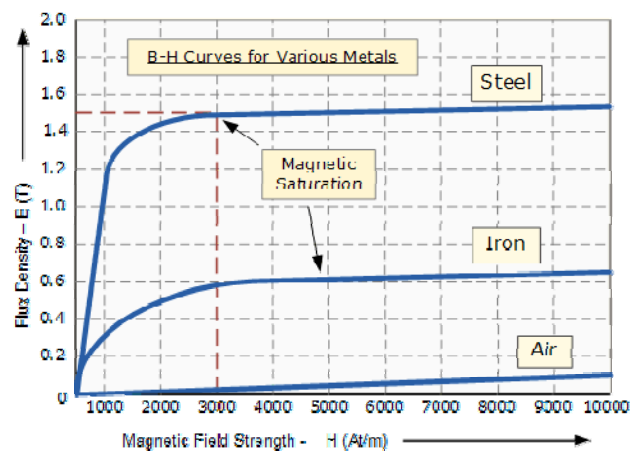


Figure 2 B-H Curves

3. (a) What are the similarities and differences between 3-phase synchronous motor and 3-phase squirrel-cage induction motor? In terms of basic motor constructions and also methods of starting.

(25 marks)

- (b) A 3-phase, 6-pole synchronous generator has 36 stator slots. The generator has double-layer windings with full-pitch coils of 12 turns each. The flux per pole is 0.015Wb and sinusoidally distributed in the airgap.

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

(25 marks)

- (ii) Determine the winding factor  $K_w$

(25 marks)

(iii) Determine the rms value of the phase induced voltage and line-line induced voltage for this synchronous generator at 50Hz frequency.

(25 marks)

4. (a) Given the  $BH$  curves for 3 different steels as shown in Figure 4, estimate the relative permeability  $\mu_r$  at point A, B and C respectively.

(20 marks)

(b) If you have the option to choose, which material from this  $BH$  curve would you use for the stator and rotor cores of a 3-phase synchronous machines. Describe and explain your reasons why you choose this material.

(20 marks)

(c) What is hysteresis loss? How do you minimize its effect in electrical machines?

(20 marks)

(d) What is eddy current loss? How do you minimize its effect in electrical machines?

(20 marks)

(e) What is cogging torque which is often associated with permanent magnet brushless motors? Give design steps that you would take in order to minimize the cogging torque problem.

(20 marks)

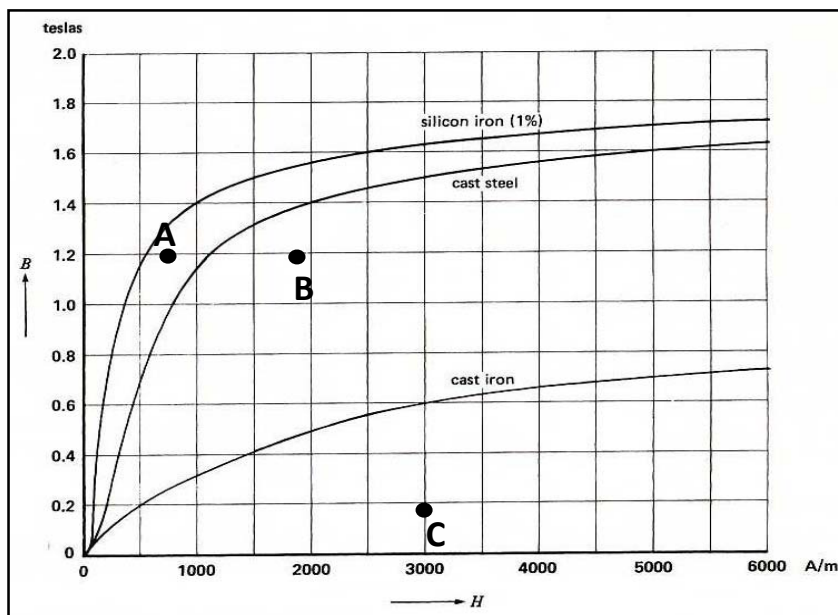


Figure 4

5. Important dimensions and parameter for a three-phase, 9-slot/8-pole PM brushless motor as shown in Figure 5 are as follows:

Stator Outer Radius  $R_{so}$  : 60mm

Stator Inner Radius  $R_{si}$  : 35mm

Rotor Outer Radius  $R_r$  : 31mm

Magnet thickness  $h_m$  : 3mm

Airgap thickness  $l_g$  : 1mm

Magnet NdFeB remanance  $B_r$  : 1.20T

Magnet NdFeB relative permeability  $\mu_r$  : 1.05

Stator & Rotor active length  $l_a$  : 50mm

Saturation flux density in iron  $B_{sat}$  : 1.70T

- (a) Estimate the stator tooth body width  $W_{tb}$  and stator yoke height  $W_{sy}$  (20 marks)
- (b) Estimate the tooth tip height  $W_{tt}$ , slot depth  $d_s$  and slot area  $A_{slot}$  (20 marks)
- (c) Sketch winding layout for this three-phase, 9-slot/8-pole PM brushless motor (20 marks)
- (d) Assume that the number of turns per phase  $N_{ph}$  is 120. Estimate the rms voltage of the phase back-emf if the motor is rotated at synchronous speed of 50Hz. (20 marks)
- (e) If the motor is excited with sinusoidal phase current of 10A peak at that synchronous speed, estimate the motor out torque. (20 marks)

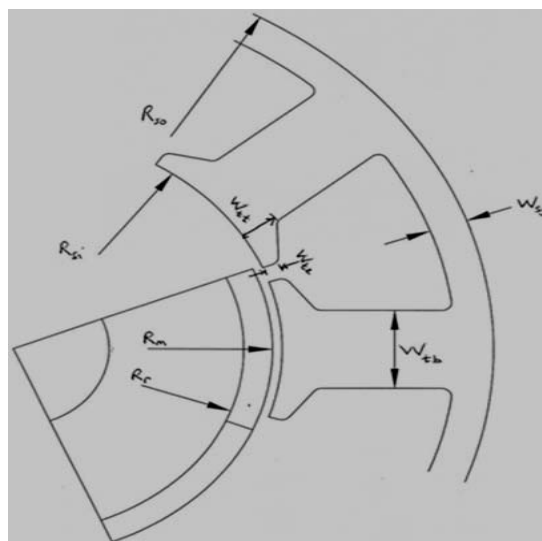


Figure 5

6. A 3-phase, 4-pole ac synchronous generator driven by a diesel engine is designed to provide 3-phase, 50Hz, 415Vrms ac supply. The motor designer has decided to opt for coil span being short-pitched by 3 slots, meaning that the coil should span over 15 slots, instead of 18 slots in case for a full-pitch coil.
- (a) How many stator slots do you think that this generator should have?  
(20 marks)
  - (b) What is the rated speed in rpm of this generator?  
(20 marks)
  - (c) What are the pitch factors  $K_p$  for  $n = 1, 5, 7$  ?  
(20 marks)
  - (d) What are the distribution factors  $K_d$  for  $n = 1, 5, 7$  ?  
(20 marks)
  - (e) Calculate the relative magnitude of induced phase emf for harmonics  $n = 5$  &  $7$  in comparison to fundamental component of the induced phase emf  
(20 marks)

**VERSI BAHASA MALAYSIA**

1. Dalam rekabentuk transformer, transformer step-down satu fasa 10 kW akan direkabentuk untuk berkerja pada voltan julat 3300/230 volt, 50 Hz. Bahan inti transformer dibangun dari waja lunak yang mempunyai kepadatan fluks ialah 1.2 Wb/m<sup>2</sup> dan luasan keratan melintang ialah 150 cm<sup>2</sup>.

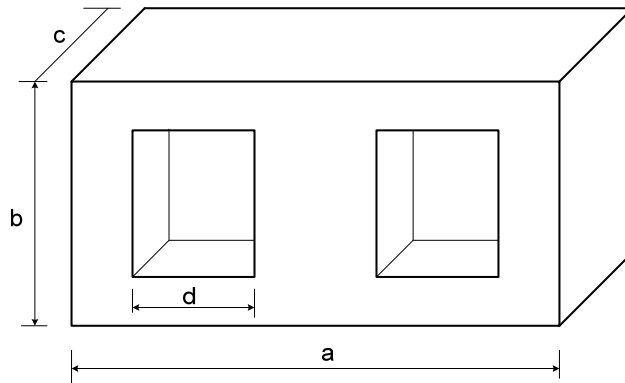
Tentukan:

(a) Nilai yang sesuai bagi belitan voltan tinggi dan voltan rendah.

(30 markah)

(b) Ukuran tingkap "a", "b", "c" dan "d" (rujuk ke Rajah 1). Guna julat hantaran sebagai mana yang ditunjukkan pada Jadual 1.

(70 markah)



Rajah 1

Jadual 1 Conductor Current Rating

Nom. cross-section	Max. permitted current rating	Nom. cross-section	Max. permitted current rating
mm <sup>2</sup>	approx. A*	mm <sup>2</sup>	approx. A*
0.10	5	25	150
0.14	6	35	195
0.20	7	50	250
0.25	9	70	300
0.35	10	95	360
0.50	12.5	120	420
0.75	15	150	480
1	18	185	570
1.50	21	240	670
2.50	30	300	780
4	40	400	950
5.25	44	500	1100
6	55	625	1300
8	70	800	1500
10	85	1000	1800
16	120		

\* Measured at 35 °C room temperature and max. permitted conductor temperature of 70 °C

2. Dalam rekabentuk transformer, satu transformer tiga fasa penurun voltan sambungan  $\Delta/Y$  akan direkabentuk untuk beroperasi pada voltan julat 1100/415 Volt dan frekuensi 50Hz. Bahan inti transformer yang digunakan adalah waja yang mempunyai ciri B-H sebagaimana ditunjukkan pada Rajah 2 di bawah. Luasan keratan efektif transformer ialah  $250 \text{ cm}^2$ . Dianggap bahawa kejatuhan voltan maximum ialah 5%.

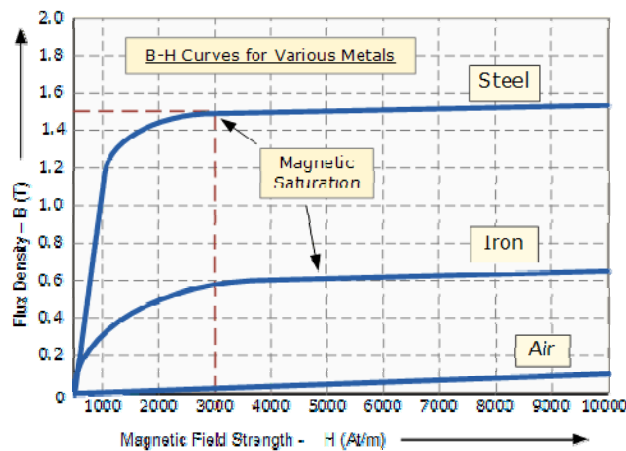
Tentukan :

(a) Bilangan belitan primer dan sekunder transformer.

(50 markah)

(b) Nilai kepadatan fluks maksimum daripada luasan keratan transformer.

(50 markah)



Rajah 2 B-H Curves

3. (a) Apakah persamaan dan perbezaan antara motor segerak 3-fasa dan motor aruhan sangkar-tupai 3-fasa? Dari segi asas pembinaan motor dan juga cara permulaan operasi.

(25 markah)

(b) Penjana segerak 3-fasa, 50-Hz, 6-kutub mempunyai 36 stator slot. Ia mempunyai belitan dua lapisan dengan gegelung 12 lilitan setiap satu. Fluks setiap kutub ialah  $0.015 \text{ Wb}$  dan teragih sinusoid dalam sela udara.

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

(25 markah)

(ii) Tentukan faktor belitan  $K_w$

(25 markah)



(iii) Tentukan nilai rms untuk voltan aruhan fasa and voltan aruhan talian untuk penjana segerak ini pada frekuensi 50Hz.

(25 markah)

4. (a) Diberi kelok BH bagi 3 keluli yang berlainan seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 4. Anggarkan kebolehtelapan relative  $\mu_r$  pada titik A, B dan C masing-masing.

(20 markah)

(b) Jika anda diberi pilihan untuk memilih, bahan manakah dari kelok BH ini yang anda guna untuk teras stator dan pemegun di mesin segerak tiga-fasa. Jelaskan dan terangkan sebab-sebab anda memilih bahan tersebut.

(20 markah)

(c) Apakah kehilangan hysteresis? Bagaimanakah anda mengurangkan kesannya terhadap mesin elektrik?

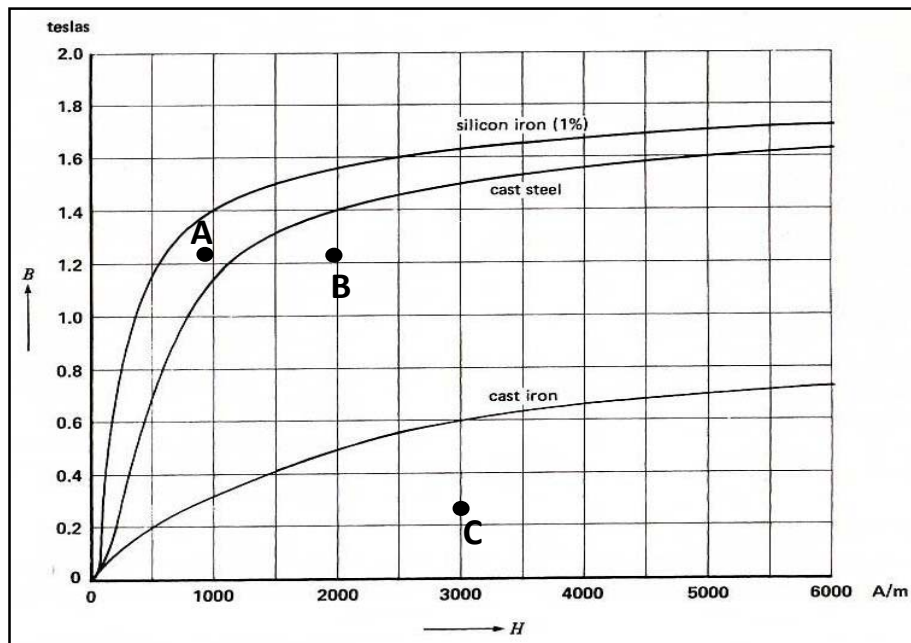
(20 markah)

(d) Apakah kehilangan arus pular eddy? Bagaimanakah anda mengurangkan kesannya terhadap mesin elektrik?

(20 markah)

(e) Apakah tork penugalan yang sering dikaitkan dengan motor-motor magnet kekal tanpa berus? Berikan langkah-langkah rekabentuk yang anda boleh ambil untuk mengurangkan masalah tork penugalan.

(20 markah)



Rajah 4

5. Dimensi-dimensi dan parameter penting bagi motor PM tanpa berus, tiga-fasa, 9-slot/8-pole ditunjukkan dalam Rajah 5 adalah seperti berikut:

Stator Outer Radius  $R_{so}$  : 60mm

Stator Inner Radius  $R_{si}$  : 35mm

Rotor Outer Radius  $R_r$  : 31mm

Magnet thickness  $h_m$  : 3mm

Airgap thickness  $l_g$  : 1mm

Magnet NdFeB remanance  $B_r$  : 1.20T

Magnet NdFeB relative permeability  $\mu_r$  : 1.05

Stator & Rotor active length  $l_a$  : 50mm

Saturation flux density in iron  $B_{sat}$  : 1.70T

(a) Anggarkan lebar gigi stator  $W_{tb}$  dan tinggi yoke stator  $W_{sy}$

(20 markah)

(b) Anggarkan tinggi hujung gigi  $W_{tt}$ , kedalaman slot  $d_s$  dan luas slot  $A_{slot}$

(20 markah)

(c) Lakarkan lilitan untuk motor PM tanpa berus, tiga-fasa, 9-slot/8-pole

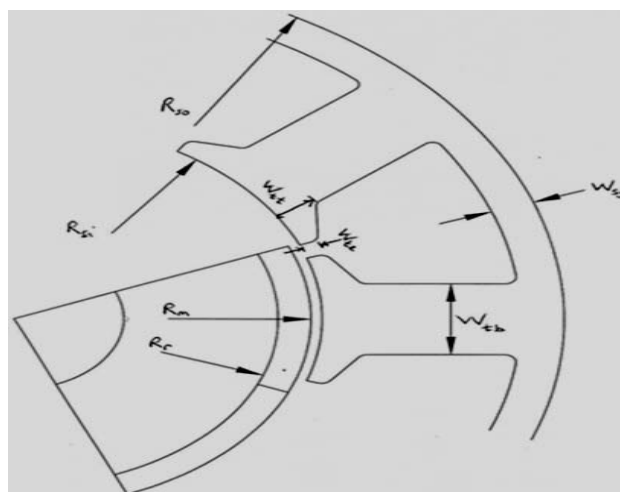
(20 markah)

(d) Andaikan bahawa bilangan jumlah lilitan per fasa  $N_{ph}$  ialah 120. Anggarkan voltan rms bagi back-emf fasa jika motor ini berpusing dengan kelajuan segerak pada frekuensi 50Hz.

(20 markah)

(e) Jika motor diuja dengan arus fasa sinusoid sebanyak 10A puncak pada kelajuan segerak tersebut, anggarkan tork keluaran motor.

(20 markah)



Rajah 5

6. *Penjana segerak AU tiga-fasa, 4-kutub dipacu oleh sebuah mesin diesel engin yang direkabentuk bagi membekal voltan AU tiga-fasa, 50Hz, 415Vrms . Perekabentuk motor telah memilih untuk koil span yang mempunyai short-pitched 3 slot, dimaksudkan bahawa koil harus memutar sebanyak 15 slot, daripada 18 slot untuk full-pitch koil.*
- (a) *Berapa banyak slot stator yang anda fikirkan sepatutnya diperlukan oleh penjana ?*  
(20 markah)
- (b) *Apakah kadar kelajuan dalam rpm bagi penaja?*  
(20 markah)
- (c) *Apakah faktor jarak  $K_p$  untuk  $n=1,5,7$  ?*  
(20 markah)
- (d) *Apakah faktor agihan  $K_d$  untuk  $n=1,5,7$  ?*  
(20 markah)
- (e) *Kira magnitud relatif emf fasa teraruh untuk harmonik  $n=5$  dan 7 dalam perbandingan untuk komponen fundamental emf fasa terinduksi.*  
(20 markah)