

---

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Peperiksaan Semester Pertama  
Sidang Akademik 2005/2006

November 2005

**EEK 466 – REKABENTUK MESIN ELEKTRIK**

Masa : 3 jam

---

**ARAHAN KEPADA CALON:**

Sila pastikan bahawa kertas peperiksaan ini mengandungi **SEMBILAN (9)** muka surat berserta **Lampiran** (2 mukasurat) bercetak dan **LIMA (5)** soalan sebelum anda memulakan peperiksaan ini.

Jawab **LIMA (5)** soalan.

Agihan markah bagi soalan diberikan disudut sebelah kanan soalan berkenaan.

Semua soalan hendaklah dijawab di dalam Bahasa Inggeris. Walau bagaimanapun, **SATU (1)** soalan dibenarkan dijawab dalam Bahasa Malaysia.

...2/-

1. Sebuah transformer 3-fasa perlu direkabentuk daripada data-data berikut :

*A 3-phase transformer is to be designed from the following data:*

Kadaran : 630 kVA, 3-fasa, jenis teras, 50 Hz  
*Rating: 630 kVA, 3-phase, core type, 50 Hz*

Nisbah voltan : 11000 V / 433 V  
*Voltage ratio: 11000 V / 433 V*

Sambungan : Jaring / Bintang  
*Connection: Delta / Star*

Ketumpatan Fluks maksimum : 1.6 T  
*Maximum flux density: 1.6 T*

Ketumpatan Arus maksimum : 2.6 A/mm<sup>2</sup>  
*Maximum current density: 2.6 A/mm<sup>2</sup>*

Faktor ruang tettingkap : 0.3  
*Space factor for window: 0.3*

Pemalar, k untuk pengiraan voltan per pusingan : 0.6 hingga 0.9  
*Constant, k for calculation for voltage per turn: 0.6 to 0.9*

Pemalar untuk ketebalan belitan (l.v – b1, h.v – b2) formula : k1 = 0.5, k2 = 0.6  
*Constants for winding widths (l.v. - b1, h.v. - b2) formula: k1 = 0.5, k2 = 0.6*

Kelegaan antara belitan voltan rendah dan lengan : 10 mm  
*Clearance between l.v. winding and limb: 10 mm*

Kelegaan antara belitan voltan rendah dan belitan voltan tinggi : 12 mm  
*Clearance between l.v. winding and h.v. winding: 12 mm*

Kelegaan antara belitan-belitan fasa yang berbeza : 15 mm  
*Clearance between different phase windings: 15 mm*

Kenaikan suhu : 50 °C  
*Temperature rise: 50 °C*

...3/-

Pilih faktor-faktor yang sesuai untuk lengan-lengan dan lapisan-lapisan daripada Jadual (Lampiran A). Teras diperbuat daripada lapisan-lapisan selaput varnish 0.3 mm. Pilih nilai k yang sesuai.

*Select suitable factors for limbs and laminations from the Tables (Appendix A). Core is made with 0.35 mm varnish coated laminations. Choose suitable value for k.*

- (i) Tentukan dimensi-dimensi utama teras.

*Determine the main dimensions of the core.*

(75%)

- (ii) Tentukan bilangan lilitan belitan voltan rendah dan voltan tinggi, dimensi-dimensi pengalir selepas ketumpatan arus yang sesuai dianggarkan.

*Determine l.v. and h.v. winding turns, conductor dimensions after assuming suitable current densities.*

(10%)

- (iii) Tunjukkan jenis bahan-bahan magnet, pengalir dan penebat yang perlu digunakan untuk alatubah ini.

*Indicate the type of magnetic, conducting and insulating materials to be used for this transformer.*

(15%)

2. (a) Terangkan kaedah-kaedah penyejukan berikut dengan kesesuaian penyusunan penyejukan alatubah-alatubah kuasa.

Explain the following cooling methods with suitable cooling arrangement for power transformers.

...4/-

- (i) Jenis OB  
OB type
- (ii) Jenis OFW  
OFW type (20%)

- (b) Sebuah transformer 5 MVA beroperasi pada beban-penuh, faktor kuasa uniti dan kecekapan 99.5% mempunyai kehilangan teras sebanyak 5 kW. Transformer ini kemudian beroperasi pada 75% daripada beban-penuh dan pengukuran yang dibuat pada transformer tersebut adalah seperti berikut:

*A 5 MVA transformer operating at full-load, unity power factor and 99.5 % efficiency has the core losses of 5 kW.*

*The transformer is then operated at 75 % full-load and the following measurements are made on the transformer:*

Suhu salur masuk udara = 24 °C  
*Inlet air temperature:* = 24 °C

Suhu salur keluar udara = 45 °C  
*Outlet air temperature:* = 45 °C

Bacaan barometer merkuri = 762 mm  
*Barometer reading of mercury* = 762 mm

- (i) Tentukan kehilangan kuprum dan kehilangan keseluruhan pada 75% beban-penuh  
*Determine the copper losses and total losses at 75 % full-load.*  
(15%)

- (ii) Cari bilangan udara tersejuk diperlukan untuk menghilangkan haba tersebut.  
*Find the amount of cooling air required for dissipating the losses.*  
(40%)

...5/-

- (iii) Suhu udara bagi salur masuk dan salur keluar di atas telah diperhatikan selepas 1¼ jam alatubah beroperasi. Selepas 2½ jam, jika kenaikan suhu udara antara salur masuk dan salur keluar adalah 33 °C, tentukan pemalar masa pemanasan dan kenaikan maksimum suhu selepas 2½ jam.

*The above inlet and outlet air temperatures are observed after 1¼ hours of transformer operation. After 2 ½ hours, if the temperature-rise of air between inlet and outlet is 33 °C, determine the heating time constant and maximum temperature rise after 2 ½ hours.*

(25%)

3. (a) Terbitkan persamaan bagi faktor pengagihan dan faktor rentang-gegelung sebuah belitan dwi-lapisan 3-fasa daripada asas-asasnya.

*Derive the expressions for distribution factor and coil-span factor of a 3-phase double layer winding from fundamentals.*

(20%)

- (b) Pemegun bagi sebuah motor dc tak-berberus 4-kutub, 3-fasa, 24 alur dilengkapi dengan belitan tindih dwi-lapisan dan lingkaran-lingkaran pic-penuh.

*The stator of a 4-pole, 3-phase, 24 slots brush-less dc motor is provided with double-layer lap winding and full-pitch coils.*

- (i) Berikan gambaran jadual belitan 3-fasa  
*Give the layout of winding table of the 3 phases* (10%)

- (ii) Lukis terperinci gambarajah belitan yang dihasilkan. Tandakan ketiga-tiga fasa dengan warna berlainan.

*Draw a neat developed winding diagram. Mark the 3 phases with different colors.*

(50%)

...6/-

- (iii) Anggapkan satu gambarajah fasa yang sesuai untuk arus-arus 3-fasa dan tandakan arah-arrah arus pada belitan tersebut.

*Assume a suitable phasor diagram for the 3 phase currents and mark the current directions on the windings.*

(10%)

- (iv) Kirakan faktor belitan.

*Calculate the winding factor.*

(10%)

4. (a) Sebuah motor tak-berberus magnet kekal 200 VA, 42 V, 3-fasa, 6-kutub, 10,000 rpm sambungan bintang perlu direkabentuk daripada data-data berikut :

*A 200 VA, 42 V, 3-phase, 6-pole, 10,000 rpm star connected permanent magnet brush-less motor is to be designed from the following data:*

Ketumpatan Fluks maksimum : 0.6 T hingga 0.8 T  
*Maximum flux density: 0.6 to 0.8 T*

Bebanan elektrik tentu : 20,000 hingga 23,000 AC/m  
*Specific electric loading: 20,000 to 23,000 AC/m*

Nisbah panjang teras terhadap pic-alur : 1.56  
*Ratio of core length to pole-pitch: 1.56*

Faktor belitan : 0.956  
*Winding factor: 0.956*

Alur per kutub per fasa : 2 hingga 3  
*Slots per pole per phase: 2 to 3*

...7/-

Pilih nilai-nilai sesuai daripada maklumat di atas, tentukan  
*Selecting suitable values from the above data, determine*

- (i) Satu persamaan untuk hasil  $D^2L$  daripada asas-asasnya dengan simbol dan unit asas contohnya bebanan tentu, halaju dan sebagainya.

*An expression for  $D^2L$  product from fundamentals with usual symbols and units, in terms of specific loadings, speed etc.*

(30%)

- (ii) Dimensi-dimensi utama.  
*The main dimensions.*

(40%)

- (iii) Diameter pemutar jika panjang sela-udara ialah 1 mm.  
*Rotor diameter if air-gap length is 1 mm.*

(5%)

- (iv) Bilangan alur-alur pemegun dan pic-alur  
*Number of stator slots and slot pitch.*

(15%)

- (v) Bilangan lilitan belitan pemegun.  
*Number of stator winding turns.*

(10%)

5. (a) Terangkan apakah yang dimaksudkan dengan fluks bocor dalam sebuah transformer dengan memberikan lakaran terasnya.

*Explain what is leakage flux in a transformer with a sketch of the core.*

(15%)

- (b) Tentukan reaktan bocor per fasa bagi belitan voltan rendah sebuah transformer jenis teras 3-fasa, 50 Hz daripada data-data berikut :

*Determine the leakage reactance per phase of l.v. winding of a 3-phase, 50 Hz core type transformer from the following data:*

...8/-

Bilangan lilitan/fasa :	11
<i>No. of turns / phase:</i>	<i>11</i>
Panjang bersih bagi satu lilitan :	1.2 m
<i>Mean length of a turn:</i>	<i>1.2 m</i>
Ketinggian belitan :	0.3 m
<i>Height of the winding:</i>	<i>0.3 m</i>
Lebar belitan :	0.02 m
<i>Width of the winding:</i>	<i>0.02 m</i>
Pemalar ruang magnet :	$4\pi 10^{-7}$
<i>Magnetic space constant:</i>	<i><math>4\pi 10^{-7}</math></i>

Kelegaian antara belitan voltan rendah dan voltan tinggi : 0.015 m  
*Clearance between l.v and h.v. windings: 0.015m*

(35%)

- (c) Maklumat lengkap litar magnet bagi satu pemegun alur, kutub-kutub dan pemutar adalah ditunjukkan dalam Jadual di bawah :

*The magnetic circuit details of a slotted stator, poles and rotor are shown in the following Table:*

Bahagian <i>Part</i>	Bahan <i>Material</i>	Panjang Laluan Fluks,mm <i>Length of Flux Path, mm</i>	Ketumpatan Fluks, T <i>Flux Density T</i>
Teras Pemegun <i>Stator core</i>	Besi Silikon <i>Silicon steel</i>	25	1.1
Gigi Pemegun <i>Stator teeth</i>	Besi Silikon <i>Silicon steel</i>	15	1.3
Kutub <i>Pole</i>	Besi tuang <i>Cast steel</i>	9	0.8
Teras Pemutar <i>Rotor core</i>	Besi tuang <i>Cast steel</i>	10	0.85
Sela-udara <i>Air-gap</i>	-----	0.6mm	0.6 T

...9/-



Nilai ampere-lilitan / m yang diperlukan bagi setiap bahagian magnet boleh diperolehi daripada lengkung B-H bahan tersebut (Lampiran B).

*Ampere-turns / m required for each magnetic part is to be obtained from the B-H curves of the materials (Appendix B).*

- (i) Lukis satu lakaran litar magnet dan tandakan semua dimensi-dimensinya.

*Draw a sketch of the magnetic circuit and mark all dimensions.*

(20%)

- (ii) Tentukan jumlah mmf (Ampere-lilitan/kutub) bagi litar magnet termasuk sela-udara.

Nota : Nilai sela-udara Ampere-lilitan / kutub =  $800,000 K_g B_g l_g$

Di mana pemalar,  $K_g = 1.2$

*Determine the total mmf (Ampere-turns / pole) of the magnetic circuit including the air-gap.*

*Note: The air-gap Ampere-turns / pole =  $8,00,000 K_g B_g l_g$*

*Where constant,  $K_g = 1.2$*

(30%)

ooo0ooo

Jadual 1 Faktor ruang bagi teras  
 Table 1. Space factor for core

Diameter teras, mm Core diameter, mm	Bilangan langkah No. of steps	Faktor ruang, $k_0$ Space factor, $k_0$
< 100	1	0.64
	2	0.79
	3	0.84
	4	0.87
100 - 150	5	0.88
250 - 300	6	0.89

Jadual 2 Faktor tindanan bagi lapisan-lapisan  
 Table 2. Stacking factor for laminations

Ketebalan lapisan, mm Thickness of lamination, mm	0.35		0.5	
	0.35		0.5	
Jenis penebatan Type of insulation	Kertas Paper	Varnish Varnish	Kertas Paper	Varnish Varnish
Faktor tindanan, $k_s$ Stacking factor, $k_s$	0.85	0.9	0.875	0.93
	0.85	0.9	0.875	0.93

