
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Peperiksaan Semester Pertama
Sidang Akademik 2007/2008

Oktober/November 2007

EEK 466 – REKABENTUK MESIN ELEKTRIK

Masa : 3 jam

ARAHAN KEPADA CALON:

Sila pastikan bahawa kertas peperiksaan ini mengandungi **DUA BELAS (12)** muka surat bercetak dan **LIMA (5)** soalan sebelum anda memulakan peperiksaan ini.

Jawab **SEMUA** soalan.

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

Agihan markah bagi soalan diberikan disudut sebelah kanan soalan berkenaan.

Jawab semua soalan di dalam Bahasa Malaysia.

Persamaan-persamaan yang berguna:

Useful equations:

Andaikan bahawa pemegun dan pemutar besi adalah tak tepu semasa motor beroperasi dan purata ketumpatan fluks sela udara berdasarkan kepada magnet

kekalkan boleh dianggarkan sebagai
$$B_g = \frac{B_r}{1 + \mu_r \frac{l_g}{l_m}} \quad (\text{T})$$

Assuming that stator and rotor irons are not saturated during motor operations, then the average airgap flux density due to permanent magnet can be estimated by

$$B_g = \frac{B_r}{1 + \mu_r \frac{l_g}{l_m}} \quad (\text{T})$$

1. (a) Apakah tork penugalan di dalam magnet kekal mesin tanpa berus? Gambarkan dua cara yang boleh digunakan untuk mengurangkan tork penugalan.

What is cogging torque in permanent magnet brushless machines? Describe two methods which are generally opted in order to reduce cogging torque.

(20%)

- (b) Dalam mesin-mesin selinder, terbitkan persamaan-persamaan yang dikaitkan tork T dengan beban magnet B_g dan beban elektrik Q.

In cylindrical machines, please derive the equations that relate torque T to magnetic loading B_g and electric loading Q

(20%)

...3/-

- (c) Jelaskan 4 faktor yang mendedahkan had-had dalam rekabentuk mesin. Anda boleh menggunakan konsep dalam beban magnet B_g dan beban elektrik Q dalam jawapan-jawapan anda.

Explain 4 factors that impose limitations on machine design. You may incorporate concepts of magnetic loading B_g and electric loading Q into your answers.

(20%)

- (d) Apakah belitan penuh pic? Apakah belitan pecahan pic? Jelaskan bagaimana kedua-duanya berkait dengan factor pic K_p .

What is full-pitch winding? What is fractional-pitch winding? Explain how these two relate to the pitch factor K_p .

(20%)

- (e) Topologi medan jejarian dalam magnet kekal mesin tanpa berus adalah dikenalpasti oleh magnet-magnet yang mana akan ditempatkan dalam pemutar. Namakan 4 jenis-jenis topologi tersebut.

Radial field topology of permanent magnet brushless machines is identified by which the magnets are placed on the rotor. Name 4 types of this topology.

(20%)

2. Sila merekabentuk satu mesin 3 fasa magnet kekal tanpa berus (BLAC) di mana boleh menghasilkan tork bernilai 5Nm untuk semua kelajuan sehingga 400 rpm. Mesin ini dipandu oleh penyongsang 3 fasa dengan arus suap balik kepada arus terkawal yang dibenarkan, daripada satu arus terus a.t berpaut kepada 600V sumber voltan.

Andaikan:

Design a 3-phase permanent magnet brushless machine (BLAC) which can produce a torque of 5Nm for all speed up to 400rpm. The machine is driven by a 3-phase inverter with current feedback to permit current control, from a dc link voltage supply of 600V.

Assume:

- Kombinasi 12 slot/10 kutub dipilih seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 1.

12-slot/10-pole combination is selected as shown in Figure 1.

- Magnet NdFeB digunakan dengan baki B_r adalah 1.2T dan nisbi kebolehtelapan μ_r adalah 1.05.

NdFeB magnets are used with remanence B_r of 1.2T and relative permeability μ_r of 1.05.

- Ketumpatan fluks tepu besi keluli B_{sat} adalah 1.5T.

Steel iron saturation flux density B_{sat} is 1.5T

- Panjang sela udara l_g ialah 1 mm.

Airgap length l_g is 1mm.

- Faktor pengisi slot K_{sf} ialah 0.35.

Slot fill factor K_{sf} is 0.35.

- Garis pusat luaran pemegun D_{so} ialah 100 mm.
Stator outside diameter D_{so} is 100 mm.

- Panjang paksi tindan ialah l_a 100mm.
Axial stack length l_a is 100mm.

- (a) Jika beban magnet yang dipilih pada 0.8T, nyatakan ketebalan yang diperlukan dalam magnet NdFeB.

If magnetic loading B_g is chosen at 0.8T, determine the required thickness of the NdFeB magnet.

(20%)

- (b) Diberi bahawa garis pusat pemutar ialah 55mm, nyatakan beban elektrik Q yang diperlukan dalam menghasilkan keluaran tork 5Nm.

Given the rotor diameter is 55mm, determine the required electric loading Q in order to produce 5Nm output torque.

(20%)

- (c) Andaikan kelajuan pada kadar 400 rpm, voltan aruhan punca setiap fasa ialah 300V, nyatakan bilangan lilitan setiap fasa yang diperlukan.

Assuming at rated speed 400rpm, the peak voltage induced per phase is to be 300V, determine the required number of turns per phase.

(20%)

- (d) Jika lilitan dua lapis dipilih, nyatakan garispusat bagi wayar Kuprum yang akan digunakan.

If double-layer winding is selected, determine the diameter of copper wire to be used.

(20%)

- (e) Lakarkan bentangan belitan tersebut.
Sketch the winding layout.

(20%)

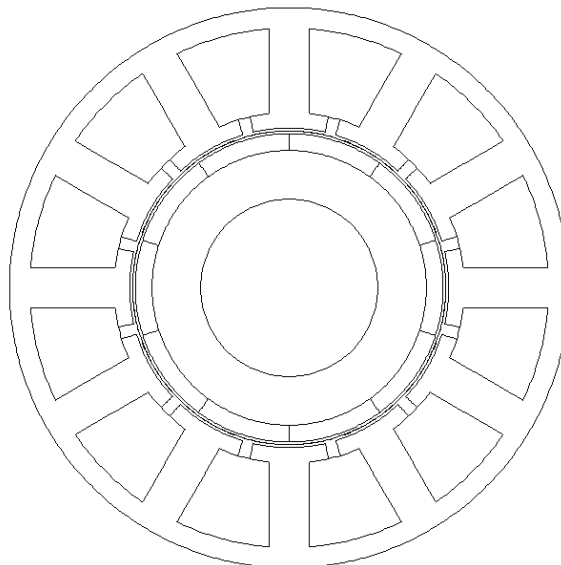


Figure 1 : 12-slot and 10-pole motor

3. Dengan menggunakan parameter yang ditunjukkan dalam Jadual 1 dan Rajah 2 di mana ianya untuk keperluan bagi motor kekal 3 fasa 15 slot/10 kutub, sila kirakan yang berikut:

Using the parameters shown in Table 1 and Figure 2 which are intended for the 3-phase 15 slot/10 pole permanent motor, please calculate the followings:

- (a) Lebar badan gigi, W_{tb}
The tooth body width W_{tb}

(20%)

...7/-

- (b) Tinggi pemegun kuk, W_{sy}
The stator yoke height W_{sy} (20%)
- (c) Tinggi hujung gigi W_{tt}
The tooth tip height W_{tt} (20%)
- (d) Kedalaman slot d_s dan keluasan slot A_{slot} .
The slot depth d_s and slot area A_{slot} (20%)
- (e) Andaikan garis pusat wayar kuprum ialah 1mm dan 35% pengisian slot telah digunakan, anggarkan berapa banyak lilitan wayar untuk setiap gegelung boleh diperolehi.

Assuming 1mm diameter of copper wire and 35% slot fill are used, estimate how many turns of wire each coil can have. (20%)

Jadual 1 : motor magnet kekal tanpa berus 3 fasa 15 slot/10 pole
Table 1 : 3-phase 15slot/10pole permanent magnet brushless motor

Parameters	
Jejari luaran pemegun R_{so} <i>Stator outer radius R_{so}</i>	50 mm
Jejari dalaman pemegun R_{si} <i>Stator inner radius R_{si}</i>	30mm
Jejari luaran magnet R_m <i>Magnet outer radius R_m</i>	29mm
Jejari luaran pemutar R_r <i>Rotor outer radius R_r</i>	26mm
Ketebalan pemutar l_m <i>Magnet thickness l_m</i>	3mm
Ketebalan sela udara l_g <i>Airgap thickness l_g</i>	1mm
Baki magnet NdFeb B_r <i>NdFeb magnet remanence B_r</i>	1.2T
Nisbi kebolehtelapan magnet NdFeb μ_r <i>NdFeb magnet relative permeability μ_r</i>	1.05
Panjang aktif l_a <i>Active length l_a</i>	50mm

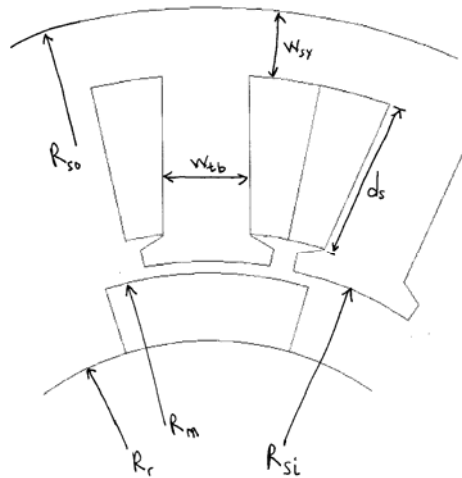


Figure 2 : Definition of parameters used in Table 1 for question 4

4. Penjana segerak 3 fasa, 50Hz, 6 kutub mempunyai 36 slots. Ia mempunyai belitan dua lapisan dengan gegelung 8 lilitan setiap satu. Fluks setiap kutub ialah 0.015 Wb (teragih sinusoid dalam sela udara).

A 3-phase, 50Hz, 6-pole synchronous generator has 36 slots. It has double-layer windings with full-pitch coils of 8 turns each. The flux per pole is 0.015Wb (sinusoidally distributed in the airgap).

- (a) Nyatakan pic slot θ_s , pic kutub θ_p dan pic gegelung θ_{cs} dalam darjah mech.

Determine the slot pitch θ_s , the pole pitch θ_p and the coil pitch θ_{cs} in mech. deg.

(25%)

- (b) Lakarkan kedudukan gegelung untuk fasa A, B dan C. Untuk menjadikan kurang rumit, sila tunjukkan di mana semua gegelung yang terletak di atas 2 pasang kutub sahaja.

sketch the position of coils for phase A, B and C. To make it less complicated, please show those coils which are located over 2 pole-pairs only.

(25%)

- (c) Nyatakan faktor pic K_p , taburan faktor K_d dan faktor belitan K_w .
Determine the pitch factor K_p , the distribution factor K_d and the winding factor K_w

(25%)

- (d) Nyatakan amplitud dalam voltage fasa dan voltan talian-talian untuk penjana tersebut.

Determine the amplitude of phase voltage and line-line voltage for this generator.

(25%)

5. Fluks paksi 3 fasa motor magnet kekal kecil adalah digunakan untuk pemacu cakera liut. Motor tersebut boleh mengeluarkan tork sebanyak 10mNm. Hasilkan satu garis kasar bagi merekabentuk electromagnet dengan ketetapan-ketetapan seperti berikut:

A small 3-phase axial flux permanent magnet motor is to be used for a floppy disk drive. The motor should be able to deliver 10mNm of torque. Perform an outline of electromagnetic design within the following constraints:

- Menggunakan kombinasi 9 slot dan 8 kutub.
Use 9-slot and 8-pole combination.

- Garispusat luaran dan dalaman bagi pemutar adalah 50mm dan 20mm masing-masing.
Outside and inside diameter of rotor magnet are 50mm and 20mm respectively.
 - Magnet Ferrite dengan baki $B_r = 0.4T$ dan nisbi kebolehtelapan $\mu_r=1.1$
Ferrite magnets with remanence $B_r = 0.4T$ and relative permeability $\mu_r=1.1$
 - Belitan slot, mengeluarkan arus maksimum 0.5A dalam operasi mode BLDC.
Slotted winding, drawing a maximum current of 0.5A in BLDC operation mode.
 - Ketumpatan fluks punca teras B_{sat} adalah 1.0T.
A peak core flux density B_{sat} of 1.0T.
 - Panjang sela udara adalah 1.0mm.
An airgap length of 1.0mm.
- (a) Lakarkan susunan belitan, menunjukkan gegelung-gegelung bagi fasa A, B dan C masing-masing.
Sketch the winding arrangement, indicating coils for phase A, B and C respectively.

(20%)

- (b) Dengan mensasarkan ketumpatan fluks sela B_g udara adalah 0.25T, kirakan keperluan bagi ketebalan magnet l_m
With a target of 0.25T airgap flux density B_g , calculate the required magnet thickness l_m

(20%)

...12/-

- (c) Keperluan paksi kedalaman pemutar kuk d_r .
The required axial depth of rotor yoke d_r (20%)
- (d) Anggarkan bilangan lilitan setiap fasa, dihasilkan daripada keperluan tork dan arus maksimum.
Estimate number of turns per phase, derived from the torque requirement and maximum current. (20%)
- (e) Kirakan voltan fasa teraruh pada 5000 rpm.
Calculate the induced phase voltage at 5000 rpm. (20%)