

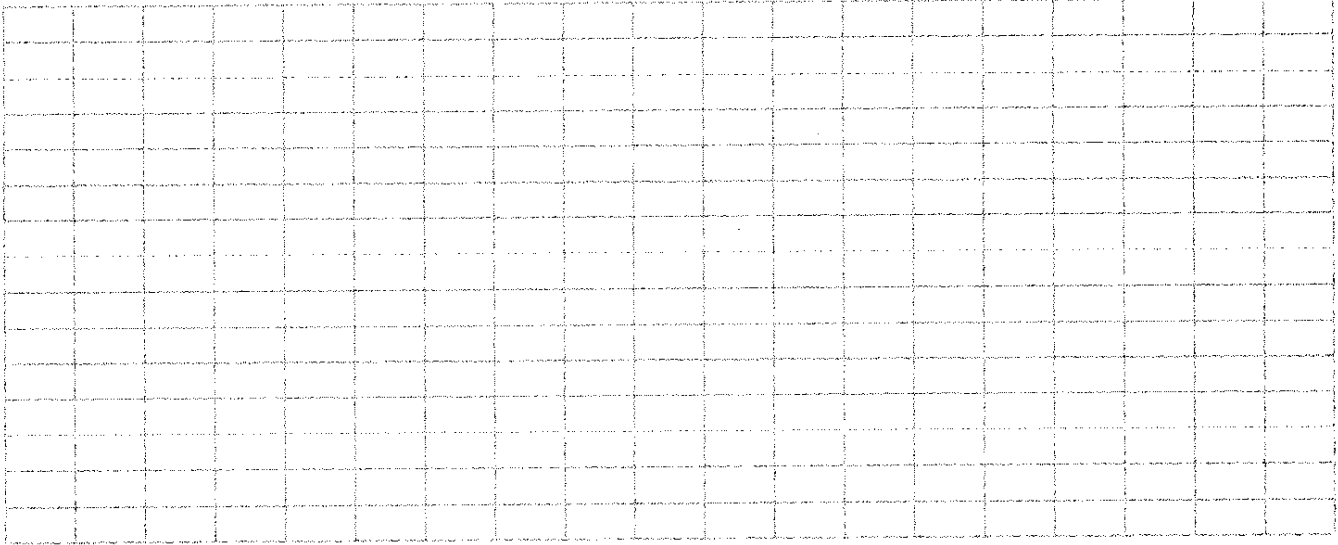
# ELEKTRİK MAKİNALARI-2 ARASINAV SORULARI

Öğrenci No:

Adı Soyadı :

Normal Öğretim, 29.04.2005, Süre:90 dakika

1) Üç fazlı 18 oluklu bir AC makina statorunda 18 oluk olup, sargılar oluklara iki katlı olarak şekildeki gibi yerleştirilmişlerdir. Her sargıda 8 döngü vardır. Makina silindirik rotorlu olup hava aralığı düzgün ve manyetik çekirdek için  $\mu_r \approx \infty$  Kabul edilmektedir.



A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	-C <sub>1</sub>	-C <sub>2</sub>	-C <sub>3</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	-A <sub>4</sub>	-A <sub>5</sub>	-A <sub>6</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	-B <sub>4</sub>	-B <sub>5</sub>	-B <sub>6</sub>
A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>	-C <sub>4</sub>	-C <sub>5</sub>	-C <sub>6</sub>	B <sub>4</sub>	B <sub>5</sub>	B <sub>6</sub>	-A <sub>1</sub>	-A <sub>2</sub>	-A <sub>3</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	-B <sub>1</sub>	-B <sub>2</sub>	-B <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

- a) Stator sargılarına  $i_A = I \cos \omega t$ ,  $i_B = I \cos(\omega t - 120^\circ)$ ,  $i_C = I \cos(\omega t + 120^\circ)$  akımları uygulanırsa,  $\omega t = 60^\circ$  olduğu anda, bu akımların hava aralığında ürettiği bileşke manyetomotor kuvvet dağılımını çizin. (15 puan)
- b) 1., 3. ve 5. harmonikler için uzanım katsayılarını hesaplayınız. (4 puan)
- c) Her bir iletkeninde 1., 3. ve 5. harmonikler için etkin değerleri sırasıyla  $E_{1rms}/ilt = 4V$ ,  $E_{3rms}/ilt = 2V$  ve  $E_{5rms}/ilt = 1V$  olan gerilimler endükleniyor. Buna göre bir sargıda endüklenen gerilimin 1., 3. ve 5. harmonikler için etkin değerlerini bulunuz. (9 puan) Sonraki şıkları da bu gerilimlere göre çözünüz.
- d) 1., 3. ve 5. harmonikler için dağılım katsayılarını hesaplayınız. (4 puan)
- e) Faz başına sargı adedini bulunuz. (2 puan)
- f) Bir fazda endüklenen gerilimin 1., 3. ve 5. harmonikler için etkin değerlerini bulunuz. (8 puan)
- g) Bir faz geriliminin bileşke (tüm harmonikler birarada) etkin değerini bulunuz. (4 puan)
- h) Stator sargıları yıldız bağlı ise fazlararası geriliminin bileşke (tüm harmonikler birarada) etkin değerini bulunuz. (4 puan)

Formüller: n. harmonik için: Uzanım katsayısı =  $\left| \sin \frac{n\rho}{2} \right|$ , Dağılım katsayısı =  $\left| \frac{\left( \sin \frac{qn\gamma}{2} \right)}{\left( q \sin \frac{n\gamma}{2} \right)} \right|$

2) Bir asenkron motorun etiketinde "Frekans: 60Hz", "hız: 800 devir/dakika" yazmaktadır. Bu motor, anma değerlerinde çalıştırılırsa kayma ne olur? ( $0 < \text{kayma} < \%30$  gibi makul şartlarda) (15 puan)

3) Üç fazlı 50Hz'lik 6 kutuplu bir asenkron motorun statoru yıldız bağlı olup fazlararası 380V gerilim uygulandığında 980 devir/dakika hızında dönmektedir. Tek faza indirgenmiş ve statora yansıtılmış eşdeğer devre parametreleri aşağıdaki gibidir. Bu çalışma için motorun verimini ve torkunu hesaplayınız. Sürtünmeyi ihmal ediniz. Yaklaşık eşdeğer devre kullanmanız tavsiye edilir. (35 puan)

$$g_c = 2mS, b_m = 6mS, r_1 = 0,4\Omega, x_1 = 0,2\Omega, r_2' = 0,5\Omega, x_2' = 0,2\Omega$$

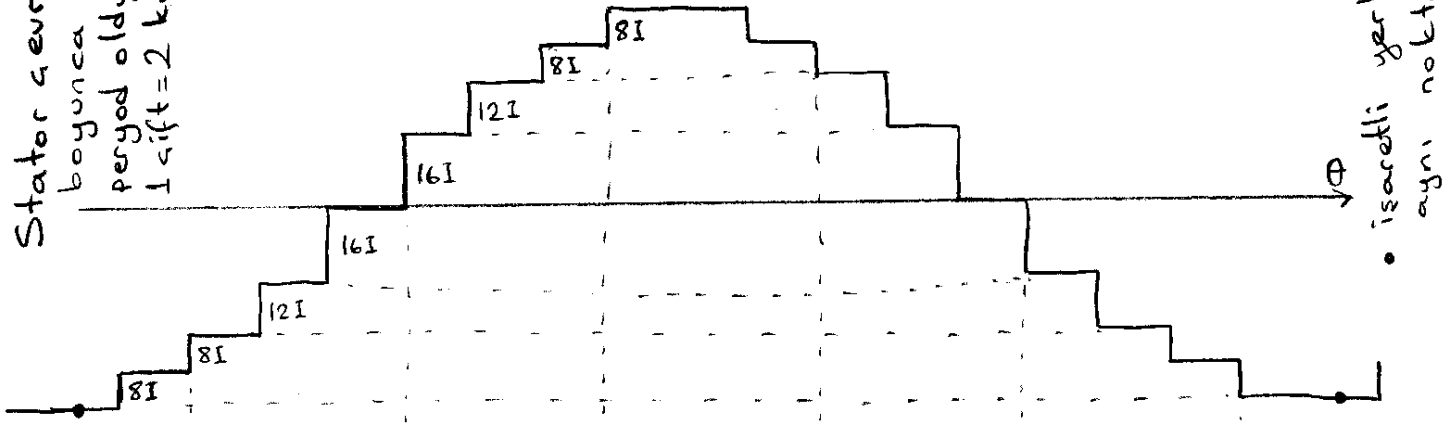
**BAŞARILAR...**

**Yrd. Doç. Dr. Ata SEVİNÇ**

ELEKTRİK MAKİNALARI-2 ARASINAV CEVAP ANAHTARI:  
Normal Öğretim, 29.04.2005

- 1) a)  $\omega t = 60^\circ \Rightarrow i_A = \frac{I}{2}, i_B = \frac{I}{2}, i_C = -I; N = 8$   
A için 4I, B için 4I, C için -8I değişim olacak.

Stator çevresi  
boyunca bir tam  
periyod olduğundan  
1 çift = 2 kutuplu



-B <sub>6</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	-C <sub>1</sub>	-C <sub>2</sub>	-C <sub>3</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	-A <sub>4</sub>	-A <sub>5</sub>	-A <sub>6</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	-B <sub>4</sub>	-B <sub>5</sub>	-B <sub>6</sub>	A <sub>1</sub>
A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>	-C <sub>4</sub>	-C <sub>5</sub>	-C <sub>6</sub>	B <sub>4</sub>	B <sub>5</sub>	B <sub>6</sub>	-A <sub>1</sub>	-A <sub>2</sub>	-A <sub>3</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	-B <sub>1</sub>	-B <sub>2</sub>	-B <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>
18	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	1

b) Uzanım katsayısı =  $k_{un} = \left| \sin \frac{n\phi}{2} \right|$

Kutup uzanımı =  $\frac{18 \text{ oluk}}{2 \text{ kutup}} = 9 \text{ oluk} \equiv 180^\circ \text{ elk.} \rightarrow \gamma = \frac{180^\circ}{9} = 20^\circ \text{ elk.}$

$\left. \begin{array}{l} A_1 : 1. \text{ olukta} \\ -A_1 : 9. \text{ olukta} \end{array} \right\} \text{ sargı uzanımı} = 9 - 1 = 8 \text{ oluk} \equiv 8\gamma$   
 $\phi = 8 \cdot 20^\circ = 160^\circ \text{ elk.}$

$k_{u1} = \sin 80^\circ = 0,9848$        $k_{u3} = \left| \sin 240^\circ \right| = 0,8660$

$k_{u5} = \sin 400^\circ = \sin 40^\circ = 0,6428$

c)  $E_{rms}/\text{sargı} = 2N (E_{rms}/\text{ilt}) \times k_{un}$   
↳ 1 sargı = 2 iletken olduğundan

$E_{1rms}/\text{sargı} = 2 \times 8 \times 4V \times 0,9848 = 63,03V$

$E_{3rms}/\text{sargı} = 2 \times 8 \times 2V \times 0,8660 = 27,71V$

$E_{5rms}/\text{sargı} = 2 \times 8 \times 1V \times 0,6428 = 10,28V$

$$d) k_{dn} = \left| \frac{\sin\left(\frac{qn\gamma}{2}\right)}{q \sin\left(\frac{n\gamma}{2}\right)} \right|$$

$$q = \frac{18 \text{ oluk}}{3 \text{ faz} \times 2 \text{ kutup}} = 3$$

$$\gamma = 20^\circ$$

$$k_{d1} = \frac{\sin 30^\circ}{3 \sin 10^\circ} = 0,9598$$

$$k_{d3} = \frac{\sin 90^\circ}{3 \sin 30^\circ} = 0,6667$$

$$k_{d5} = \frac{\sin 150^\circ}{3 \sin 50^\circ} = 0,2176$$

$$e) \text{ Faz başına sargı sayısı} = N_{\text{faz}} = \frac{18 \text{ oluk}}{3 \text{ faz}} \times 2 \text{ kat} \times \frac{1}{2 \text{ kenar}} = 6$$

Zaten  $A_1, A_2, \dots, A_6$  olmasından belli.

$$f) E_{\text{nrms/faz}} = N_{\text{faz}} \times (E_{\text{nrms/sargı}}) \times k_{dn}$$

$$E_{1\text{rms/faz}} = 6 \times 63,03 \text{ V} \times 0,9598 = 363,0 \text{ V}$$

$$E_{3\text{rms/faz}} = 6 \times 27,71 \text{ V} \times 0,6667 = 110,8 \text{ V}$$

$$E_{5\text{rms/faz}} = 6 \times 10,28 \text{ V} \times 0,2176 = 13,4 \text{ V}$$

$$g) E_{\text{rms/faz}} = \sqrt{\sum_n (E_{\text{nrms/faz}})^2}$$

$$= \sqrt{363,0^2 + 110,8^2 + 13,4^2}$$

$$E_{\text{rms/faz}} = 379,8 \text{ V}$$

h) Dengeli yıldız bağlantıda fazlararası gerilim, faz geriliminin  $\sqrt{3}$  katı olur, 3'ün tam katı numaralı harmonikler hariç.

$$E_{\text{rms (fazlararası)}} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{363,0^2 + 13,4^2} = 629 \text{ V}$$

$$2) n_s = \frac{120 \times f \rightarrow 60\text{Hz}}{P} = \frac{7200}{P} \text{ devir/dakika}$$

$n_r$ ,  $n_s$  'e yakın olduğundan  $P \approx \frac{7200}{800}$  civarında çift bir tamsayıdır ve  $n_r = 800 \text{ devir/dakika} < n_s$  olmalıdır.

$P \approx 9$  fakat yukarıdaki şartlara göre

$$P=10 \text{ olsa } n_s = \frac{7200}{10} \text{ devir/dakika} = 720 \text{ devir/dakika} < n_r \text{ OLAMAZ.}$$

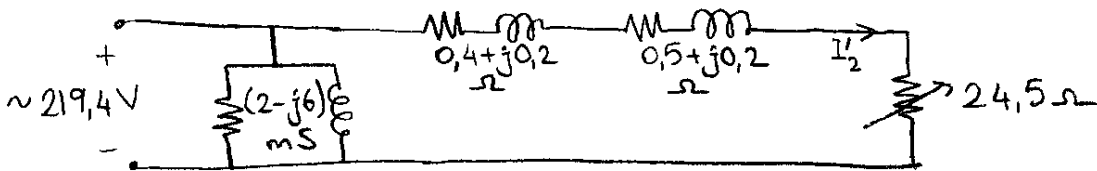
$$P=8 \text{ olsa } n_s = \frac{7200}{8} \text{ devir/dakika} = 900 \text{ devir/dakika} > n_r \text{ OLUR}$$

( $P=6$  olsaydı  $n_s = \frac{7200}{6} \text{ devir/dakika} = 1200 \text{ devir/dakika}$  durumunda kayma  $\frac{1200-800}{1200} > \%30$  olurdu. Bu nedenle 6 da olamaz.)

$$\boxed{P=8} \rightarrow \boxed{n_s = 900 \text{ devir/dakika}} \rightarrow s = \frac{900-800}{900}$$

$$\boxed{s = \%11,1 = 0,111}$$

3) Statora yansıtılmış, tek faza indirgenmiş yaklaşık eşdeğer devre:



$$n_s = \frac{120 \times 50}{6} \text{ devir/dakika} = 1000 \text{ devir/dakika} \quad n_r = 980 \text{ devir/dakika}$$

$$s = \frac{1000-980}{1000} = 0,02 \quad \rightarrow \quad \frac{r_2'}{s} (1-s) = \frac{0,5}{0,02} (1-0,02) = 24,5 \Omega$$

$$V_1 = 380\text{V}/\sqrt{3} = 219,4\text{V}$$

$$P_{Fe} = 3 \times 2\text{mS} \times (219,4\text{V})^2 = 289\text{W}$$

$$|I_2'| = \frac{219,4}{\sqrt{(0,4+0,5+24,5)^2 + (0,2+0,2)^2}} = 8,64\text{A}$$

$$P_{cu} = 3 \times (0,4\Omega + 0,5\Omega) \times (8,64\text{A})^2 = 201\text{W}$$

$$P_m = 3 \times (24,5\Omega) \times (8,64\text{A})^2 = 5483\text{W}$$

$$P_{giris} = P_{Fe} + P_{cu} + P_m = 5973\text{W}$$

$$P_{cikis} = P_m \text{ (sürtünme ihmal)}$$

$$\text{Verim} = \frac{P_{cikis}}{P_{giris}} = \frac{5483}{5973} = \%92$$

$$\omega_r = 2\pi \frac{n_r}{60} = 2\pi \frac{980}{60} \text{ rad/s} = 102,6 \text{ rad/s}$$

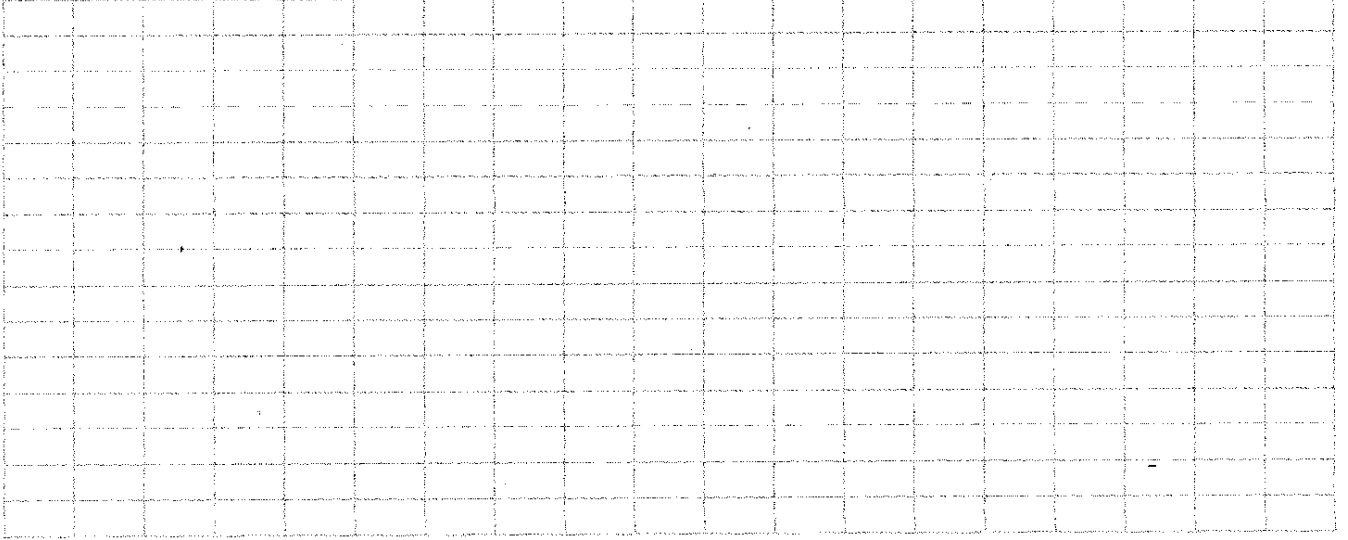
$$\text{Torque} = T_m = \frac{P_m}{\omega_r} = \frac{5483}{102,6} \text{ Nm}$$

$$T_m = 53,4 \text{ Nm}$$

Öğrenci No:  
Adı Soyadı :

**ELEKTRİK MAKİNALARI – 2 ARASINAV SORULARI**  
İkinci Öğretim, 29.04.2005, Süre:90 dakika

1) Üç fazlı 18 oluklu bir AC makina statorunda 18 oluk olup, sargılar oluklara şekildeki gibi yerleştirilmiştir. Her sargıda 10 döngü vardır. Makina silindirik rotorlu olup hava aralığı düzgün ve manyetik çekirdek için  $\mu_r \approx \infty$  kabul edilmektedir.



A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	-C <sub>1</sub>	-C <sub>2</sub>	-C <sub>3</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	-A <sub>1</sub>	-A <sub>2</sub>	-A <sub>3</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	-B <sub>1</sub>	-B <sub>2</sub>	-B <sub>3</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

- a) Stator sargılarına  $i_A = I \cos \omega t$ ,  $i_B = I \cos(\omega t - 120^\circ)$ ,  $i_C = I \cos(\omega t + 120^\circ)$  akımları uygulanırsa,  $\omega t = 180^\circ$  olduğu anda, bu akımların hava aralığında ürettiği bileşke manyetomotor kuvvet dağılımını çiziniz. (10 puan)
- b) Stator sargılarına 50Hz'lik bir akı değişimi uygulanıyor. Bu akımın 1., 3. ve 5. harmoniklerinin genlikleri sırasıyla  $\hat{\Phi}_1 = 0,040 \text{ Wb}$ ,  $\hat{\Phi}_3 = 0,012 \text{ Wb}$ ,  $\hat{\Phi}_5 = 0,008 \text{ Wb}$  olduğuna göre, bir iletkende endüklenen gerilimin 1., 3. ve 5. harmonikler için etkin değerlerini bulunuz. (12 puan) Sonraki şıkları da bu gerilimlere göre çözünüz.
- c) Bir sargıda endüklenen gerilimin 1., 3. ve 5. harmonikler için etkin değerlerini bulunuz. (6 puan)
- d) 1., 3. ve 5. harmonikler için dağılım katsayılarını hesaplayınız. (4 puan)
- e) Faz başına sargı adedini bulunuz. (2 puan)
- f) Bir fazda endüklenen gerilimin 1., 3. ve 5. harmonikler için etkin değerlerini bulunuz. (8 puan)
- g) Bir faz geriliminin bileşke (tüm harmonikler birarada) etkin değerini bulunuz. (4 puan)
- h) Stator sargıları yıldız bağlı ise fazlararası geriliminin bileşke (tüm harmonikler birarada) etkin değerini bulunuz. (4 puan)

Formüller: n. harmonik için: Uzanım katsayısı =  $\left| \sin \frac{n\rho}{2} \right|$ , Dağılım katsayısı =  $\left| \frac{\sin \frac{qn\gamma}{2}}{q \sin \frac{n\gamma}{2}} \right|$

2) 50Hz'de  $s = 0,03$  kayma değeriyle 582 devir/dakika hızında dönen bir asenkron motorun senkron hızı nedir? Kaç kutupludur? Bu motor 60Hz'de çalıştırılırsa senkron hızı ne olur? (3×5=15 puan)

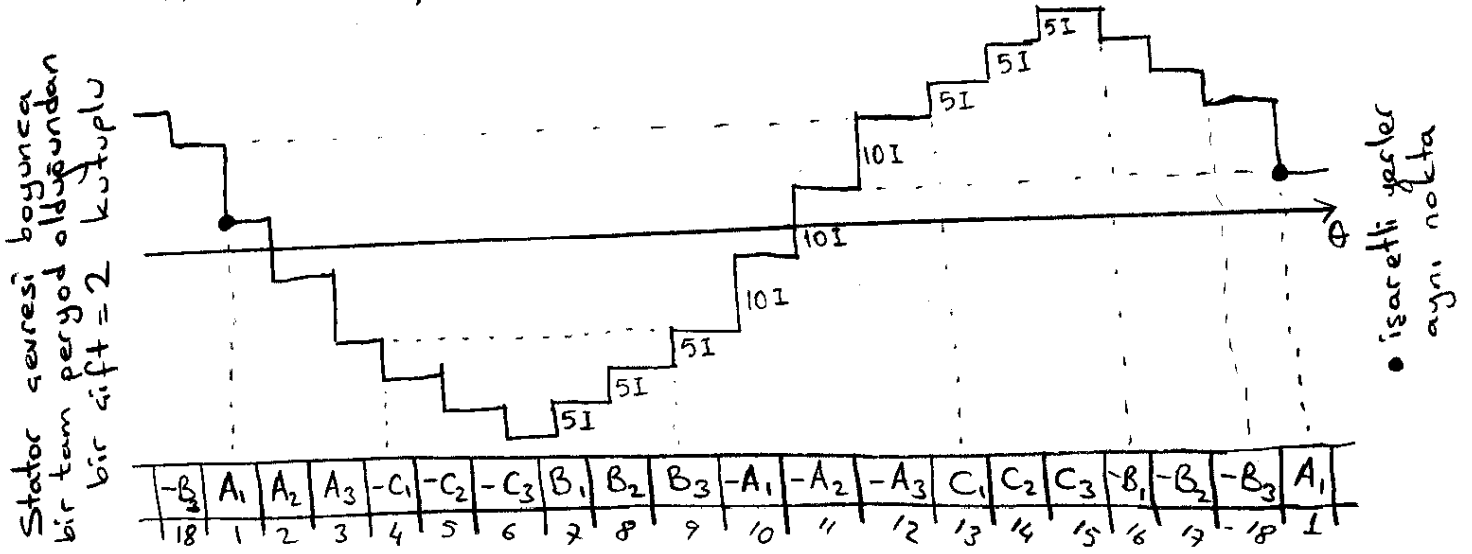
3) Üç fazlı 50Hz'lik 4 kutuplu bir asenkron motorun statoru üçgen bağlı olup fazlararası 1000V gerilim uygulandığında 1460 devir/dakika hızında dönmektedir. Tek faza indirgenmiş ve statora yansıtılmış eşdeğer devre parametreleri aşağıdaki gibidir. Bu çalışma için motorun verimini ve torkunu hesaplayınız. Sürtünmeyi ihmal ediniz. Yaklaşık eşdeğer devre kullanmanız tavsiye edilir. (35 puan)

$$g_c = 3 \times 10^{-4} \text{ S}, b_m = 5 \times 10^{-4} \text{ S}, r_1 = 5 \Omega, x_1 = 3 \Omega, r_2' = 4 \Omega, x_2' = 3 \Omega$$

**BAŞARILAR...**

**Yrd. Doç. Dr. Ata SEVİNÇ**

- 1) a)  $\omega t = 180^\circ \Rightarrow i_A = -I$ ,  $i_B = \frac{I}{2}$ ,  $i_C = \frac{I}{2}$ ;  $N = 10$   
A için  $-10I$ , B için  $5I$ , C için  $5I$  değişim olacak.



b)  $E_{rms/ilt} = 2,22 f_n \hat{\Phi}_n$   $f_n = n \cdot 50 \text{ Hz}$   
 $f_1 = 50 \text{ Hz}$ ,  $f_3 = 150 \text{ Hz}$ ,  $f_5 = 250 \text{ Hz}$

$E_{1rms/ilt} = 2,22 \cdot 50 \cdot 0,040 \text{ V} = 4,44 \text{ V}$

$E_{3rms/ilt} = 2,22 \cdot 150 \cdot 0,012 \text{ V} = 4,00 \text{ V}$

$E_{5rms/ilt} = 2,22 \cdot 250 \cdot 0,008 \text{ V} = 4,44 \text{ V}$

c)  $A_1$ : 1. olukta } Sargı uzunluğu =  $10 - 1 = 9$  oluk.  
 $-A_1$ : 10. olukta } Kutup uzunluğu =  $\frac{18 \text{ oluk}}{2 \text{ kutup}} = 9$  oluk = Tam uzunluk

Sargı uzunluğu katsayıları 1 olur. Yazmaya gerek yok.

$E_{rms/sargı} = 2 \cdot N \cdot (E_{rms/ilt}) = 20 \cdot (E_{rms/ilt})$

$E_{1rms/sargı} = 88,8 \text{ V}$

$E_{3rms/sargı} = 80,0 \text{ V}$

$E_{5rms/sargı} = 88,8 \text{ V}$

d)  $k_{dn} = \left| \frac{\sin \frac{q n \gamma}{2}}{q \sin \frac{n \gamma}{2}} \right|$

$q = \frac{18 \text{ oluk}}{2 \text{ kutup} \times 3 \text{ faz}} = 3$

$\gamma = \frac{180^\circ \text{ elk}}{9 \text{ oluk}} = 20^\circ$  kutup uzunluğu

$k_{d1} = \frac{\sin 30^\circ}{3 \sin 10^\circ} = 0,9598$

$k_{d5} = \frac{\sin 150^\circ}{3 \sin 50^\circ} = 0,2176$

$k_{d3} = \frac{\sin 90^\circ}{3 \sin 30^\circ} = 0,6667$

$$e) \frac{18 \text{ oluk}}{3 \text{ faz}} \times \frac{1}{2} = N_{\text{faz}} = 3 \text{ sargı/faz} \rightarrow \text{zaten } A_1, A_2, A_3 \text{ olmasından belli}$$

$$f) E_{\text{rms/faz}} = N_{\text{faz}} \times (E_{\text{rms/sargı}}) \times k_{\text{dn}}$$

$$E_{\text{rms/faz}} = 3 \times 88,8 \text{ V} \times 0,9598 = 255,7 \text{ V}$$

$$E_{3\text{rms/faz}} = 3 \times 80,0 \text{ V} \times 0,6667 = 160,0 \text{ V}$$

$$E_{5\text{rms/faz}} = 3 \times 88,8 \text{ V} \times 0,2176 = 58,0 \text{ V}$$

$$g) E_{\text{rms/faz}} = \sqrt{\sum_n (E_{\text{rms/faz}})^2} = \sqrt{255,7^2 + 160^2 + 58^2} \text{ V}$$

$$= 312 \text{ V}$$

h) Dengeli Yıldız bağlantıda fazlararası gerilim faz geriliminin  $\sqrt{3}$  katı olur ama 3'ün tam katı numaralı harmonikler hariç.

$$E_{\text{rms (fazlararası)}} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{255,7^2 + 58^2} = 454 \text{ V}$$

$$2) n_r = (1-s)n_s = 582 \text{ devir/dakika} = (1-0,03)n_s$$

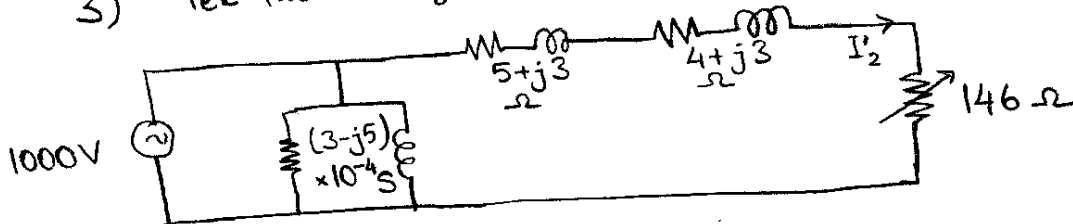
$$n_s = \frac{582}{0,97} \text{ devir/dakika} = 600 \text{ devir/dakika} = \text{Senkron hız}$$

$$n_s = \frac{120f}{p} = 600 \text{ devir/dakika} = \frac{120 \times 50}{p} \text{ devir/dakika}$$

$$p = \frac{6000}{600} \rightarrow p = 10 \text{ kutupludur.}$$

$$60 \text{ Hz 'deki senkron hız: } n'_s = \frac{120 \times 60}{10} \text{ devir/dakika} = 720 \text{ devir/dakika}$$

3) Tek faza indirgenmiş ve statora yansıtılmış eşdeğer devre:



$$\Delta \text{ bağılı olduğundan } V_1 = V_h = 1000 \text{ V}$$

$$n_s = \frac{120 \times 50}{4} \text{ devir/dakika} = 1500 \text{ devir/dakika}$$

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} = \frac{1500 - 1460}{1500} = 0,0267 \rightarrow \frac{r'_2}{s}(1-s) = \frac{4 \times 0,9733}{0,0267} \Omega = 146 \Omega$$

$$P_{Fe} \approx 3g_c |V_1|^2 = 3 \cdot 3 \cdot 10^{-4} \cdot 1000^2 \text{ W} = 900 \text{ W}$$

$$|I_2'| = \frac{1000}{\sqrt{(5+4+146)^2 + (3+3)^2}} \text{ A} = 6,45 \text{ A}$$

$$P_{Cu} \approx 3 \cdot (r_1 + r_2') |I_2'|^2 = 3 \cdot (5+4) \cdot 6,45^2 \text{ W} = 1122 \text{ W}$$

$$P_m = 3 \cdot \frac{r_2'}{s} (1-s) \cdot |I_2'|^2 = 3 \cdot 146 \cdot 6,45^2 \text{ W} = 18204 \text{ W}$$

$$\text{Verim} = \frac{P_{alkis}}{P_{giris}}$$

$$P_{giris} = P_m + P_{Cu} + P_{Fe} = 20226 \text{ W}$$

$$P_{alkis} = P_m = 18204 \text{ W} \quad (\text{sürtünme ihmal})$$

$$\text{Verim} = \frac{18204}{20226} = \%90$$

$$\omega_r = 2\pi \frac{n_r}{60} = 2\pi \cdot \frac{1460}{60} \text{ rad/s} = 152,89 \text{ rad/s}$$

$$\text{Tor} = \frac{P_m}{\omega_r} = \frac{18204}{152,89} \text{ Nm} = 119 \text{ Nm}$$



ELEKTRİK MAKİNALARI-2 FİNAL SINAVI SORULARI  
Normal Öğretim, 13.06.2005, Süre: 90 dakika

1) Üç fazlı, 50 Hz'lik, 6 kutuplu, Y/Y bağlı bir asenkron motorun, tek faza indirgenmiş ve statora yansıtılmış eşdeğer devre parametreleri:

$$r_1 = 1 \Omega ; r_2' = 2,1 \Omega ; x_1 = 4 \Omega ; x_2' = 3,2 \Omega ; g_c = 2,7 \text{ mS} ; b_m = 9,7 \text{ mS}$$

Bu motorun statoruna fazlararası 745V uygulanıyor ve rotor 935 ~~devir~~ devir/dakika hızla dönüyor. Bu durumda toplam sürtünme kayıpları 1000 W oluyor. Bu çalışma için motorun net çıkış torkunu ve verimini bulunuz. Yaklaşık eşdeğer devre kullanınız.

2) Birinci soruda parametreleri verilen motor, stator/rotor sarım oranı 2/1 olan bilezikli bir asenkron motor ise rotor sargılarına seri olarak dışarıdan bağlanacak yıldız bağlı direnç ( $r_2$  ilave) ne olmalıdır ki motorun kalkış torku maksimum tork olsun? Yaklaşık eşdeğer devreye göre hesaplayınız.

Yardımcı formül: 
$$S_{Tmax} = \frac{r_2'}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2')^2}}$$

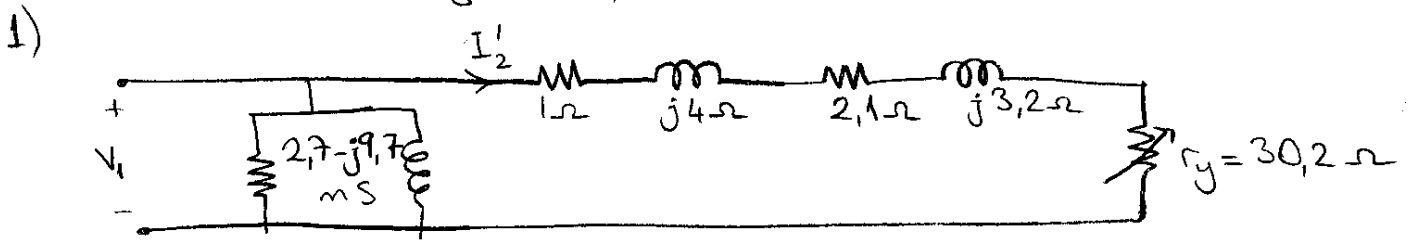
3) Üç fazlı, 50 Hz'lik, Y bağlı, 1280V ve 53,2 kVA'lık bir senkron alternatöre açık devre ve kısa devre testleri uygulanıyor. Test sonuçları uyartım akımına karşılık fazlararası gerilim ve hat akımı olarak şöyledir:

Uyartım akımı (A)	2	4	6	8
Açık devre gerilimi (V)	400	800	1070	1280
Kısa devre akımı (A)	8	16	24	32

Stator sargı direncini ihmal ederek alternatörün tek faza indirgenmiş senkron reaktansının doymuş ve doymamış değerlerini, ve kısa devre oranını hesaplayınız.

4) Üç fazlı, statoru Y bağlı bir asenkron makinaya <sup>yüksüz çalışma</sup> ~~açık devre testi~~ uygulanıyor ve hat değerleri  $V_0 = 380V$ ,  $I_0 = 2A$ ,  $P_0 = 390W$  olarak ölçülüyor. ~~Kısa devre testi~~ <sup>Kilitli rotor</sup> testi yapıldığında ise hat değerleri  $V_k = 38V$ ,  $I_k = 9A$ ,  $P_k = 360W$  olarak ölçülüyor. Stator sargılarının üçüncü ucu boştayken diğer iki ucu arasından  $1,2 \Omega$  direnç okunduğuna göre, makinanın statora yansıtılmış ve tek faza indirgenmiş eşdeğer devre parametrelerini yaklaşık olarak bulunuz.

ELEKTRİK MAKİNALARI-2 FİNAL SINAVI CEVAP ANAHTARI  
Normal Öğretim, 13.06.2005



$$|V_1| = \frac{745V}{\sqrt{3}} = 430,1V$$

$$n_s = \frac{120 \times 50}{6} = 1000 \text{ dev/dak}$$

$$s = \frac{1000 - 935}{1000} = 0,065 \rightarrow \text{Motor modu}$$

$$r_y = \frac{2,1\Omega}{0,065} (1 - 0,065) = 30,2\Omega$$

$$|I_2'| = \frac{430,1}{\sqrt{(1+2,1+30,2)^2 + (4+3,2)^2}} \text{ A} = 12,6 \text{ A}$$

$$P_{Fe} = 3 \times 2,7 \times 10^{-3} \times 430,1^2 \text{ W} = 1498 \text{ W} \rightarrow \text{Demir kaybı}$$

$$P_{Cu} = 3 \times (1 + 2,1) \times 12,6^2 \text{ W} = 1476 \text{ W} \rightarrow \text{Bakır kaybı}$$

$$P_m = 3 \times r_y \times |I_2'|^2 = 3 \times 30,2 \times 12,6^2 \text{ W} = 14384 \text{ W} \rightarrow \text{Brüt mekanik güç}$$

$$P_{aıkıs} = P_m - P_{sürtünme} = 14384 \text{ W} - 1000 \text{ W} = 13384 \text{ W} \rightarrow \text{Net mekanik çıkış gücü}$$

$$P_{giris} = P_m + P_{Fe} + P_{Cu} = 14384 \text{ W} + 1498 \text{ W} + 1476 \text{ W} = 17358 \text{ W}$$

(Dikkat!  $P_m$  zaten  $P_{aıkıs} + P_{sürtünme}$ )  
(elektriksel)

$$\text{Verim} = \frac{P_{aıkıs}}{P_{giris}} = \frac{13384}{17358} = \boxed{\%77 = \text{Verim}}$$

$$\omega_r = 2\pi \frac{935}{60} \text{ rad/s} = 97,9 \text{ rad/s}$$

$$\text{Torque} = \frac{P_{aıkıs}}{\omega_r} = \frac{13384}{97,9} \text{ Nm} = \boxed{137 \text{ Nm} = \text{Net çıkış torku}}$$

2) Kalkışta kayma = 1 =  $s_{Tmax} = \frac{r_2'}{\sqrt{1^2 + (4+3,2)^2}} = 1$   
( $R_1 \approx r_1 = 1\Omega$ ,  $X_1 \approx x_1 = 4\Omega$ )

$$r_2' = 7,3\Omega = r_2' + r_2'_{ilave} \rightarrow r_2'_{ilave} = 7,3\Omega - 2,1\Omega = 5,2\Omega$$

$$r_2'_{ilave} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 r_2'_{ilave} = 2^2 \cdot r_2'_{ilave} \rightarrow r_2'_{ilave} = \frac{5,2\Omega}{4} = \boxed{1,3\Omega = r_2'_{ilave}}$$

3) Doğrusal bölge 4A'lık uyartım akımına kadar.

Örneğin 2A'lık uyartımdan

$$X_{s(\text{doymamış})} = \frac{400V/\sqrt{3}}{8A} \rightarrow \text{açık devre gerilimi (tek faz)}$$

$$X_{s(\text{doymamış})} = 28,9\Omega$$

$$X_{s(\text{doymuş})} = \frac{1280V/\sqrt{3}}{32A} \rightarrow \text{Anma gerilimi (tek faz)}$$

$\rightarrow$  ADK'ide anma gerilimini veren uyartımdaki kısa devre akımı

$$X_{s(\text{doymuş})} = 23,1\Omega$$

$$\text{Anma akımı} = \frac{53200VA}{\sqrt{3} \times 1280V} = 24A$$

$$KDO = \frac{8A}{6A} \rightarrow \text{ADK'ide anma gerilimini veren uyartım}$$

$\rightarrow$  KDK'ide " akımını " " "

$$KDO = 1,33$$

4) Yüksüz çalışma testinde tek faz değerleri:

$$V_{10} = \frac{380V}{\sqrt{3}} = 219,4V, \quad I_{10} = 2A, \quad P_{10} = \frac{390W}{3} = 130W$$

$$g_c = \frac{130W}{219,4^2V^2} = 2,7mS = g_c \quad Y_0 = \frac{2A}{219,4V} = 9,1mS$$

$$b_m = \sqrt{9,1^2 - 2,7^2} mS = 8,7mS = b_m$$

Kilitli rotor testinde tek faz değerleri:

$$V_{1k} = \frac{38V}{\sqrt{3}} = 21,9V, \quad I_{1k} = 9A, \quad P_{1k} = \frac{360W}{3} = 120W$$

$$r_1 = \frac{1,2\Omega}{2} = 0,6\Omega = r_1$$

$$r_1 + r_2' = \frac{120}{9^2} \Omega = 1,48\Omega$$

$$r_2' = 1,48\Omega - 0,6\Omega = 0,88\Omega = r_2'$$

$$z_k = \frac{21,9V}{9A} = 2,44\Omega$$

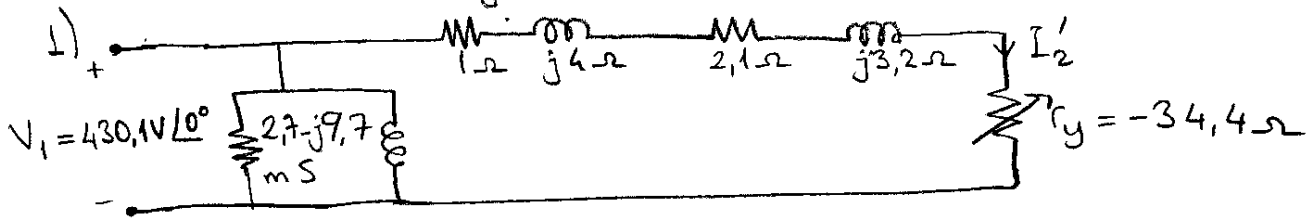
$$x_1 + x_2' = \sqrt{2,44^2 - 1,48^2} \Omega = 1,94\Omega$$

$$x_1 \approx x_2' \approx \frac{1,94\Omega}{2} = 0,97\Omega = x_1 = x_2'$$



# ELEKTRİK MAKİNALARI-2 FİNAL SINAVI CEVAP ANAHTARI

İkinci Öğretim, 13.06.2005



$$V_1 = \frac{745V}{\sqrt{3}} = 430,1V \angle 0^\circ \rightarrow \text{obun.}$$

$$n_s = \frac{120f}{P} = \frac{120 \times 50}{6} \text{ dev/dak} = 1000 \text{ dev/dak}$$

$$s = \frac{1000 - 1065}{1000} = -0,065 \rightarrow \text{Jeneratör modu}$$

$$r_y = \frac{r_2'}{s} (1-s) = \frac{2,1\Omega}{-0,065} (1+0,065) = -34,4\Omega$$

$$|I_2'| = \frac{430,1V}{\sqrt{(1+2,1-34,4)^2 + (4+3,2)^2} \Omega} = 13,39A$$

$$a) P_{Fe} = 3 \times 2,7 \times 10^{-3} \times 430,1^2 \text{ W} = 1498 \text{ W}$$

$$b) P_{cu} = 3 \times (1+2,1) \times 13,39^2 \text{ W} = 1667 \text{ W}$$

$$c) -P_m = P_{giris} = -3r_y |I_2'|^2 = 3 \times 34,4 \times 13,39^2 \text{ W} = 18503 \text{ W (mekanik)}$$

$$d) P_{cikis} = P_{giris} - P_{Fe} - P_{cu} = 15338 \text{ W (elektriksel cıkıs jeneratör)}$$

$$e) T_{giris} = \frac{P_{giris}}{\omega_r} \quad \omega_r = 2\pi \frac{1065}{60} \text{ rad/s} = 111,5 \text{ rad/s}$$

$$T_{giris} = \frac{18503}{111,5} \text{ Nm} = 166 \text{ Nm}$$

$$f) \text{ Verim} = \frac{P_{cikis}}{P_{giris}} = \frac{15338}{18503} = \%83$$

2) Yüksüz çalışmada tek faz değerleri:

$$V_{10} = \frac{1280V}{\sqrt{3}} = 739V, \quad I_{10} = 8A, \quad P_{10} = \frac{6000W}{3} = 2000W$$

$$s_c = \frac{2000}{739^2} \text{ s} = 3,66 \text{ mS}$$

$$\gamma_0 = \frac{8A}{739V} = 10,8 \text{ mS}$$

$$b_m = \sqrt{10,8^2 - 3,72^2} \text{ mS} = 10,2 \text{ mS} = b_m$$

Kilitli rotor testinde tek faz değerleri:

$$V_{lk} = \frac{230V}{\sqrt{3}} = 132,8V, \quad I_{lk} = 32A, \quad P_{lk} = \frac{5000W}{3} = 1667W$$

$$r_1 = \frac{0,4\Omega}{2} = \boxed{0,2\Omega = r_1}$$

$$r_1 + r_2' = \frac{1667}{32^2} \Omega = 1,63\Omega \rightarrow r_2' = 1,63\Omega - 0,2\Omega = \boxed{1,43\Omega = r_2'}$$

$$Z_k = \frac{132,8V}{32A} = 4,15\Omega \quad (x_1 + x_2') = \sqrt{4,15^2 - 1,63^2} \Omega = 3,8\Omega$$

$$x_1 \approx x_2' \approx \frac{3,8\Omega}{2} = \boxed{1,9\Omega = x_1 = x_2'}$$

3) Doğrusal bölge, uyartım akımının 2A'ye kadarki bölgesi.

$$X_{s(\text{doymamış})} = \frac{500V/\sqrt{3}}{10A} \rightarrow 2A \text{ uyartım için açık devre gerilimi}$$

$$\boxed{X_{s(\text{doymamış})} = 28,9\Omega}$$

$$X_{s(\text{doymuş})} = \frac{770V/\sqrt{3}}{20A} \rightarrow \text{Tek faz için ADK'de anma gerilimini veren uyartımdaki kısa devre akımı}$$

$$\boxed{X_{s(\text{doymuş})} = 22,2\Omega}$$

$$\text{Anma akımı} = \frac{20000VA}{\sqrt{3} \times 770V} = 15A$$

$$KDO = \frac{4A}{3A} \rightarrow \text{ADK'da anma gerilimini veren uyartım}$$

$$\rightarrow \text{KDK'da " akımını " " "}$$

$$\boxed{KDO = 1,33}$$

4) Maksimum güç,  $\sin\delta = 1$  için elde edilir. Bu durumda

$$\text{tek faz gücü} = P = \frac{200V \times 220V}{4\Omega} \times 1 = 11kW$$

$$\text{Üç faz maksimum gücü} = P_T = 3 \times 11kW = 33kW$$

$$\text{Maksimum tork} = T_{max} = \frac{P_T}{\omega_r} = \frac{P_T}{\omega_s}$$

$$\omega_s = \frac{120f}{P} = \frac{120 \times 50}{2} \text{ devir/dak} = 3000 \text{ dev/dak}$$

$$\omega_s = \omega_r = 2\pi \times \frac{3000}{60} \text{ rad/s} = 314 \text{ rad/s}$$

$$(\text{veya kısaca } \omega_s = 2\pi \frac{f}{P/2} = 2\pi \times \frac{50}{2/2} = 314 \text{ rad/s})$$

$$T_{max} = \frac{33000}{314} \text{ Nm} = \boxed{105 \text{ Nm} = T_{max}}$$

# ELEKTRİK MAKİNALARI – 2 BÜTÜNLEME SINAVI SORULARI

Normal Öğretim, 27.06.2005, Süre: 70 dakika

1) Tek faza indirgenmiş ve statora yansıtılmış eşdeğer devre parametreleri

$$r_1 = 3\Omega ; r_2' = 2\Omega ; x_1 = 4\Omega ; x_2' = 4\Omega ; g_c = 4mS ; b_m = 5mS$$

olan üç fazlı 50 Hz'lik, 4 kutuplu, statoru yıldız bağlı bir asenkron makinanın statoruna fazlararası 380 V uygulanıyor ve rotoru 1575 devir/dakika hızla döndürülüyor. Bütün sürtünme kayıpları ~~500W olduğuna~~ göre yaklaşık eşdeğer devre kullanarak üç faz için toplam ~~ihmal edildiğine~~

- a) Demir kaybını  
b) Bakır kaybını  
c) Mekanik giriş gücünü  
d) Elektriksel çıkış gücünü  
e) Mekanik giriş torkunu  
f) Verimi
- hesaplayınız. (30 puan)

2) Üç fazlı, statoru **üçgen** bağlı bir asenkron makinaya yüksüz çalışma testi uygulanıyor ve hat değerleri  $V_0 = 500V$ ,  $I_0 = 5A$ ,  $P_0 = 3kW$  olarak ölçülüyor. Kilitli rotor testi yapıldığında ise hat değerleri  $V_k = 100V$ ,  $I_k = 20A$ ,  $P_k = 3kW$  olarak ölçülüyor. Stator sargılarının üçüncü ucu boştayken diğer iki uç arasından  $2,6\Omega$  direnç okunduğuna göre, makinanın tek faza indirgenmiş ve statora yansıtılmış eşdeğer devre parametrelerini yaklaşık olarak bulunuz. (30 puan)

3) Üç fazlı, **üçgen** bağlı, 250 V ve 3,9 kVA'lık bir senkron alternatöre açık devre ve kısa devre testleri uygulanıyor. Uyartım akımının değişimine göre fazlararası gerilim ve hat akımları şöyle bulunuyor:

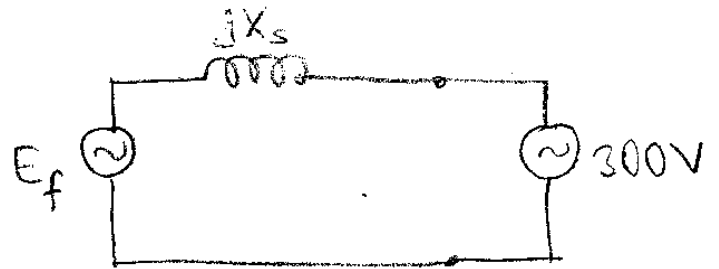
Uyartım Akımı (A)	0,5	1,0	1,5	2,0
Açık devre gerilimi (V)	75	150	210	250
Kısa devre akımı (A)	3	6	9	12

Stator sargı direncini ihmal ederek alternatörün tek faza indirgenmiş senkron reaktansının doymuş ve doymamış değerlerini ve kısa devre oranını hesaplayınız. (20 puan)

4) Faz başına senkron reaktansı  $X_s = 3\Omega$  olan, üç fazlı, 4 kutuplu, yıldız bağlı, 50 Hz'lik bir senkron motorun uyartım akımı, tek faza indirgenmiş olarak  $E_f = 250V$  olacak şekilde ayarlanıp sabit tutuluyor. Motor, faz-nötr gerilimi 300 V olan üç fazlı 50 Hz'lik ideal bir gerilim kaynağına bağlıdır. Motorun bu şartlarda sürebileceği maksimum torku hesaplayınız. (20 puan)

Yardımcı Formül:

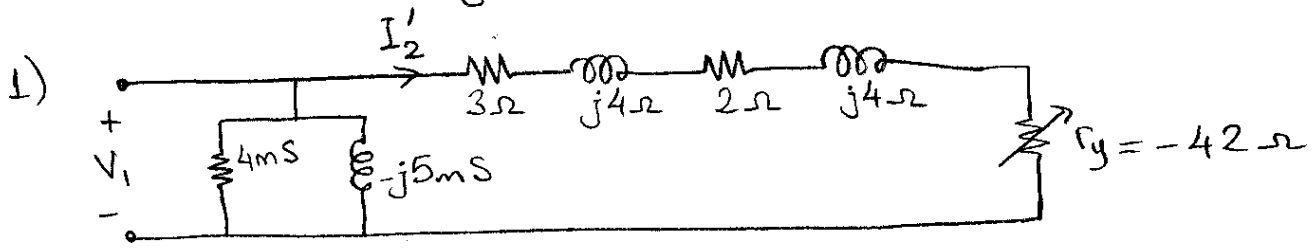
$$P = \frac{E_1 E_2}{X} \sin \delta$$



BAŞARILAR...

Yard. Doç. Dr. Ata SEVİNÇ

ELEKTRİK MAKİNALARI-2 BÜTÜNLEME SINAVI CEVAP ANAHTARI  
Normal Öğretim, 27.06.2005



$$|V_1| = \frac{380V}{\sqrt{3}} = 219,4V \quad n_s = \frac{120 \times 50}{4} = 1500 \text{ devir/dakika}$$

$$s = \frac{1500 - 1575}{1500} = -0,05 \rightarrow \text{Jeneratör modu (s < 0)}$$

$$r_y = \frac{r_2'}{s} (1-s) = \frac{2\Omega}{-0,05} (1+0,05) = -42\Omega$$

$$|I_2'| = \frac{219,4V}{\sqrt{(3+2-42)^2 + (4+4)^2} \Omega} = 5,8A$$

$$a) P_{Fe} = 3 \times 4 \times 10^{-3} \times 219,4^2 W = 578W$$

$$b) P_{Cu} = 3 \times (3+2) \times 5,8^2 W = 505W$$

$$c) -P_m = P_{giris} = -3 r_y |I_2'|^2 = 3 \times 42 \times 5,8^2 W = 4239W \text{ (mekanik)}$$

$$d) P_{cikis} = P_{giris} - P_{Fe} - P_{Cu} = 3156W \text{ (elektriksel, çünkü jeneratör)}$$

$$e) T_{giris} = \frac{P_{giris}}{\omega_r} \quad \omega_r = 2\pi \frac{1575}{60} \text{ rad/s} = 164,9 \text{ rad/s}$$

$$T_{giris} = \frac{4239}{164,9} \text{ Nm} = 25,7 \text{ Nm}$$

$$f) \text{ Verim} = \frac{P_{cikis}}{P_{giris}} = \frac{3156}{4239} = \%74$$

2) Yüksüz çalışmada tek faz değerleri:

$$V_{10} = 500V, \quad I_{10} = \frac{5A}{\sqrt{3}} = 2,89A, \quad P_{10} = \frac{3kW}{3} = 1kW = 1000W$$

$$s_c = \frac{1000}{500^2} = 4mS, \quad \gamma_0 = \frac{2,89A}{500V} = 5,77mS$$

$$b_m = \sqrt{5,77^2 - 4^2} mS = 4,2mS$$

Kilitli rotor testinde tek faz değerleri:

$$V_{1k} = 100V, \quad I_{1k} = \frac{20A}{\sqrt{3}} = 11,55A, \quad P_{1k} = \frac{3kW}{3} = 1kW = 1000W$$

$$r_1 = \frac{3}{2} \times 2,6\Omega = \boxed{3,9\Omega = r_1}$$



$$r_1 + r_2' = \frac{1000}{11,55^2} = 7,5 \Omega \rightarrow r_2' = 7,5 \Omega - 3,9 \Omega = \boxed{3,6 \Omega = r_2'}$$

$$z_k = \frac{100V}{11,55A} = 8,66 \Omega \rightarrow (x_1 + x_2') = \sqrt{8,66^2 - 7,5^2} = 4,33 \Omega$$

$$x_1 = x_2' = \frac{4,33 \Omega}{2} = \boxed{2,2 \Omega = x_1 = x_2'}$$

3) Doğrusal bölgenin, uyartım akımının 1A'e kadarki bölgesi olduğu görülüyor.

$$X_{S(\text{doymamış})} = \frac{150V}{6A/\sqrt{3}} \rightarrow 1A \text{ " " " " kısa devre akımı}$$

$$\boxed{X_{S(\text{doymamış})} = 43,3 \Omega} \rightarrow (\text{veya } \frac{75V}{3A/\sqrt{3}} \text{ de aynı})$$

$$X_{S(\text{doymuş})} = \frac{250V}{12A/\sqrt{3}} \rightarrow \text{ADK'de anma gerilimini veren uyartımdaki tek faz kısa devre akımı}$$

$$\boxed{X_{S(\text{doymuş})} = 36,1 \Omega} \quad \text{Anma hat akımı} = \frac{3900VA}{\sqrt{3} \times 250V} = 9A$$

$$KDO = \frac{2A}{1,5A} \rightarrow \text{ADK'de anma gerilimini veren uyartım}$$

$$\rightarrow \text{KDK'de " akımını " " "}$$

$$\boxed{KDO = 1,33}$$

4) Maksimum güç,  $\sin \delta = 1$  için elde edilir.  $E_1 = E_f = 250V$ ,  
 $E_2 = 300V$  ve  $X = X_s = 3 \Omega$  alınarak tek faz için maksimum güç:

$$P_{1\text{max}} = \frac{250V \times 300V}{3 \Omega} \times 1 = 25 \text{ kW}$$

$$\text{Üç faz için maksimum güç} = P_{\text{max}} = 3 \times 25 \text{ kW} = 75 \text{ kW}$$

$$\text{Maksimum tork} = T_{\text{max}} = \frac{P_{\text{max}}}{\omega_r} = \frac{P_{\text{max}}}{\omega_s}$$

$$n_s = \frac{120f}{p} = \frac{120 \times 50}{4} \text{ devir/dakika} = 1500 \text{ devir/dakika}$$

$$\omega_s = \omega_r = 2\pi \frac{1500}{60} \text{ rad/s} = 157 \text{ rad/s}$$

$$(\text{veya kısaca } \omega_s = 2\pi \frac{f}{p/2} = 2\pi \cdot \frac{50}{4/2} = 157 \text{ rad/s})$$

$$T_{\text{max}} = \frac{75000W}{157 \text{ rad/s}} = \boxed{477 \text{ Nm} = T_{\text{max}}}$$

# ELEKTRİK MAKİNALARI – 2 BÜTÜNLEME SINAVI SORULARI

İkinci Öğretim, 27.06.2005, Süre: 70 dakika

1) Tek faza indirgenmiş ve statora yansıtılmış eşdeğer devre parametreleri

$$r_1 = 2\Omega ; r_2' = 3\Omega ; x_1 = 2\Omega ; x_2' = 2\Omega ; g_c = 1mS ; b_m = 3mS$$

olan üç fazlı 50 Hz'lik, 6 kutuplu, Y/Y bağlı bir asenkron makinanın statoruna fazlararası 700 V uygulanıyor ve rotoru 950 devir/dakika hızla dönüyor. Bütün sürtünme kayıpları 500W olduğuna göre yaklaşık eşdeğer devre kullanarak üç faz için toplam

- a) Demir kaybını  
b) Bakır kaybını  
c) Net çıkış gücünü  
d) Elektriksel giriş gücünü  
e) Net çıkış torkunu  
f) Verimi
- hesaplayınız. (30 puan)

2) Birinci soruda verilen motor, stator/rotor sarım oranı 3/2 olan bilezikli bir asenkron motor ise rotor sargılarına seri olarak dışarıdan bağlanacak yıldız bağlı direncin faz başına değeri ( $r_{2ilave}$ ) ne olmalıdır ki motorun kalkış torku maksimum olsun? (20 puan)

3) Üç fazlı, statoru üçgen bağlı bir asenkron makinaya yüksüz çalışma testi uygulanıyor ve hat değerleri  $V_0 = 400V$ ,  $I_0 = 3,73A$ ,  $P_0 = 960W$  olarak ölçülüyor. Kilitli rotor testi yapıldığında ise hat değerleri  $V_k = 55V$ ,  $I_k = 10A$ ,  $P_k = 510W$  olarak ölçülüyor. Stator sargılarının üçüncü ucu boştayken diğer iki uç arasından  $2\Omega$  direnç okunduğuna göre, makinanın tek faza indirgenmiş ve statora yansıtılmış eşdeğer devre parametrelerini yaklaşık olarak bulunuz. (30 puan)

4) Üç fazlı, üçgen bağlı, 300 V ve 22,5 kVA'lık bir senkron alternatöre açık devre ve kısa devre testleri uygulanıyor. Uyartım akımının değişimine göre fazlararası gerilim ve hat akımları şöyle bulunuyor:

Uyartım Akımı (A)	1	2	3	4	5	6
Açık devre gerilimi (V)	70	140	200	250	280	300
Kısa devre akımı (A)	5	10	15	20	25	30

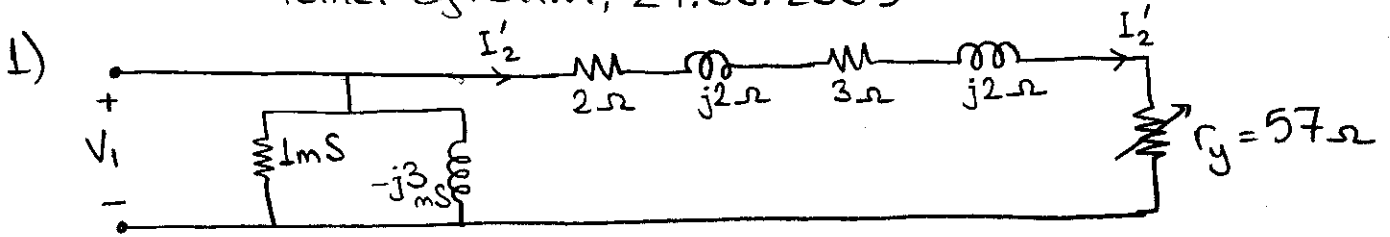
Stator sargı direncini ihmal ederek alternatörün tek faza indirgenmiş senkron reaktansının doymuş ve doymamış değerlerini ve kısa devre oranını hesaplayınız. (20 puan)

**BAŞARILAR...**

**Yard. Doç. Dr. Ata SEVİNÇ**

# ELEKTRİK MAKİNALARI-2 BÜTÜNLEME SINAVI CEVAP ANAHTARI

İkinci Öğretim, 27.06.2005



$$|V_1| = \frac{700V}{\sqrt{3}} = 404V$$

$$n_s = \frac{120 \times 50}{6} \text{ devir/dakika} = 1000 \frac{\text{devir}}{\text{dakika}}$$

$$s = \frac{1000 - 950}{1000} = 0,05 \rightarrow \text{Motor modu}$$

$$r_y = \frac{3\Omega}{0,05} (1 - 0,05) = 57\Omega$$

$$|I_2'| = \frac{404}{\sqrt{(2+3+57)^2 + (2+2)^2}} A = 6,5A$$

$$a) P_{Fe} = 3 \times 1 \times 10^{-3} \times 404^2 W = \underline{490 W}$$

$$b) P_{Cu} = 3 \times (2+3) \times 6,5^2 W = \underline{634 W}$$

$$c) P_m = 3 r_y |I_2'|^2 = 3 \times 57 \times 6,5^2 W = 7225 W \rightarrow \text{Brüt mekanik güç}$$

$$P_{aıkış} = P_m - P_{sürtünme} = 7225 W - 500 W = \underline{6725 W} \rightarrow \text{Net mekanik aıkış gücü}$$

$$d) P_{giris} = P_m + P_{Fe} + P_{Cu} = 7225 W + 490 W + 634 W = \underline{8349 W} \quad \downarrow \text{(elektriksel)}$$

(Dikkat!  $P_m$  zaten  $P_{aıkış} + P_{sürtünme}$ )

$$e) T_{aıkış} = \frac{P_{aıkış}}{\omega_r} \quad \omega_r = 2\pi \times \frac{950}{60} \text{ rad/s} = 99,5 \text{ rad/s}$$

$$T_{aıkış} = \frac{6725}{99,5} \text{ Nm} = \underline{67,6 \text{ Nm}}$$

$$f) \text{Verim} = \frac{P_{aıkış}}{P_{giris}} = \frac{6725}{8349} = \underline{\% 81}$$

$$2) \text{Kalkışta kayma} = 1 = s_{Tmax} = \frac{r_{2T}'}{\sqrt{2^2 + (2+2)^2}} = 1$$

( $R_1 \approx r_1 = 2\Omega$ ,  $X_1 \approx x_1 = 2\Omega$ )

$$r_{2T}' = 4,47\Omega = r_2' + r_{2ilave}' \rightarrow r_{2ilave}' = 4,47\Omega - 3\Omega = 1,47\Omega$$

$$r_{2ilave}' = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 r_{2ilave} = \left(\frac{3}{2}\right)^2 r_{2ilave} = 1,47\Omega$$

$$r_{2ilave} = \frac{4}{9} \times 1,47\Omega = \boxed{0,65\Omega = r_{2ilave}}$$

3) Yüksüz çalışma testinde tek faz değerleri:

$$V_{10} = 400V, \quad I_{10} = \frac{3,73A}{\sqrt{3}} = 2,15A, \quad P_{10} = \frac{960W}{3} = 320W$$

$$g_c = \frac{320W}{400^2 V^2} = \boxed{2mS = g_c}$$

$$y_0 = \frac{2,15A}{400V} = 5,38mS$$

$$b_m = \sqrt{5,38^2 - 2^2} mS = \boxed{5mS = b_m}$$

Kilitli rotor testinde tek faz değerleri:

$$V_{1k} = 55V, \quad I_{1k} = \frac{10A}{\sqrt{3}} = 5,77A, \quad P_{1k} = \frac{510W}{3} = 170W$$

$$r_1 = \frac{3}{2} \cdot 2\Omega = \boxed{3\Omega = r_1}$$

$$r_1 + r_2' = \frac{170}{5,77^2} \Omega = 5,1\Omega \rightarrow r_2' = 5,1\Omega - 3\Omega = \boxed{2,1\Omega = r_2'}$$

$$Z_k = \frac{55V}{5,77A} = 9,53\Omega \rightarrow x_1 + x_2' = \sqrt{9,53^2 - 5,1^2} = 8\Omega$$

$$x_1 = x_2' = \frac{8\Omega}{2} = \boxed{4\Omega = x_1 = x_2'}$$

4) Doğrusal bölge 2A'lık uyartım akımına kadar. Örneğin 2A için:

$$X_{S(\text{doymamış})} = \frac{140V}{10A/\sqrt{3}} \rightarrow \text{tek faz açık devre gerilimi}$$

$$\rightarrow \text{tek faz kısa devre akımı}$$

$$\boxed{X_{S(\text{doymamış})} = 24,2\Omega}$$

$$X_{S(\text{doymuş})} = \frac{300V}{30A/\sqrt{3}} \rightarrow \text{Anma gerilimi (tek faz)}$$

$$\rightarrow \text{ADK'de anma gerilimini veren uyartımdaki tek faz kısa devre akımı}$$

$$\boxed{X_{S(\text{doymuş})} = 17,3\Omega}$$

$$\text{Anma akımı (hat)} = \frac{22500VA}{\sqrt{3} \cdot 300V} = 43,3A$$

Kısa devre karakteristiği sonuçlarında bu akım görülüyor. Ancak kısa devre testinde bu hat akımını veren uyartım akımı doğru orantıyla bulunabilir. Çünkü KDK doğrusaldır.

$$I_u = 1A \Rightarrow I_h = 5A$$

$$I_u = ? \Rightarrow I_h = 43,3A$$

$$\left. \begin{array}{l} I_u = 1A \Rightarrow I_h = 5A \\ I_u = ? \Rightarrow I_h = 43,3A \end{array} \right\} I_u = \frac{43,3}{5} \times 1A = 8,66A$$

$$KDO = \frac{6A}{8,66A} \rightarrow \text{ADK'de anma gerilimini veren uyartım}$$

$$\rightarrow \text{KDK'de " akımını " " "}$$

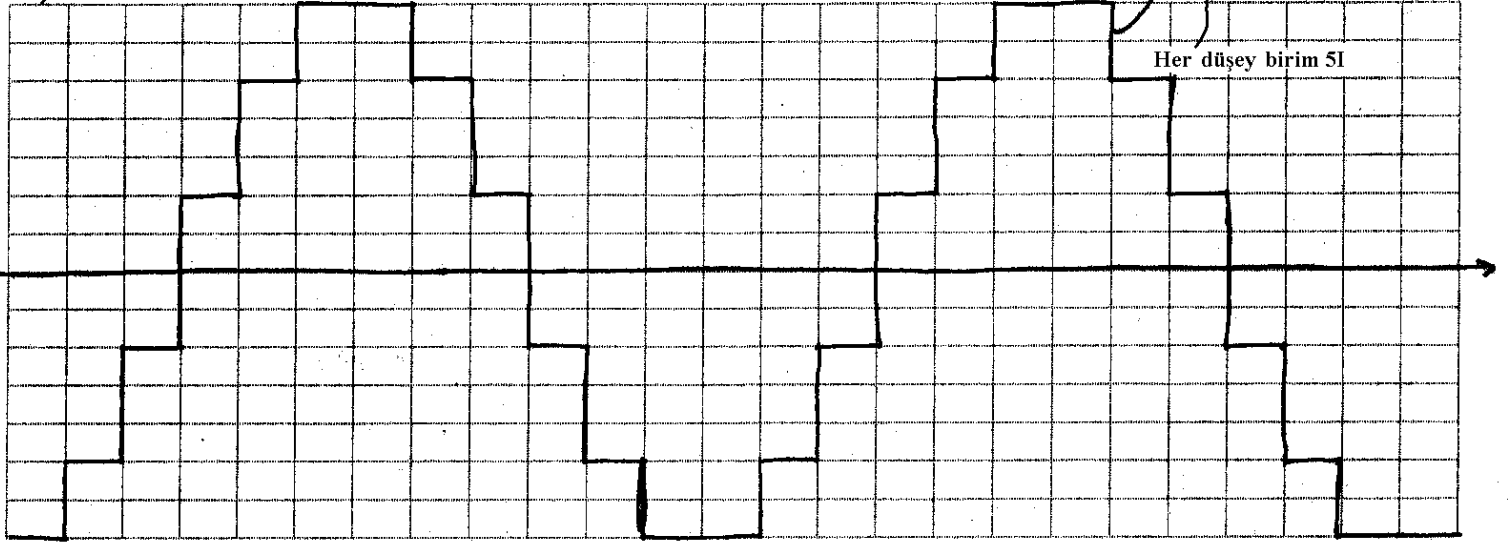
$$\boxed{KDO = 0,69}$$

Öğrenci No:  
Öğrenci Adı:

ELEKTRİK MAKİNALARI -2 ARASINAV SORULARI  
06.05.2006 Süre: 90 dakika

Bu sizin cevap makhtarına aittir. Soruda verilmiyor.

1)



A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	-C <sub>1</sub>	-C <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	-A <sub>3</sub>	-A <sub>4</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	-B <sub>3</sub>	-B <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>	-C <sub>5</sub>	-C <sub>6</sub>	B <sub>5</sub>	B <sub>6</sub>	-A <sub>7</sub>	-A <sub>8</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>8</sub>	-B <sub>7</sub>	-B <sub>8</sub>	A <sub>9</sub>
A <sub>2</sub>	-C <sub>7</sub>	-C <sub>8</sub>	B <sub>7</sub>	B <sub>8</sub>	-A <sub>1</sub>	-A <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	-B <sub>1</sub>	-B <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	-C <sub>3</sub>	-C <sub>4</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>	-A <sub>5</sub>	-A <sub>6</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	-B <sub>5</sub>	-B <sub>6</sub>	A <sub>7</sub>	A <sub>8</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	

Üç fazlı 24 oluklu bir AC makine statorunda sargılar iki oluklara iki katlı olarak yukarıda gösterildiği gibi yerleştirilmiş olup, her sargıda 10 sarım (döngü) vardır.

- a) Stator sargılarına  $i_A = I \cos(\omega t)$ ,  $i_B = I \cos(\omega t - 120^\circ)$ ,  $i_C = I \cos(\omega t - 240^\circ)$  biçiminde dengeli üç fazlı akım uygulanıyor.  $\omega t = 60^\circ$  durumu için bu akımların hava aralığında ürettiği bileşke manyeto motor kuvvet dağılımını çiziniz (13 puan). Makina kaç kutupludur? (3 puan)
- b) Sargılara, her bir sargıda endüklenen gerilimin 1., 3. ve 5. harmonik etkin (rms) değerleri sırasıyla  $E_{1rms}/\text{sargı} = 85V$ ,  $E_{3rms}/\text{sargı} = 26V$  ve  $E_{5rms}/\text{sargı} = 14V$  olacak şekilde bir akı değişimi uygulanmaktadır. Buna göre her bir iletkende endüklenen gerilimin 1., 3. ve 5. harmonik etkin değerlerini bulunuz (13 puan). Bundan sonraki şıkları da buna göre çözünüz.
- c) Bir fazda endüklenen gerilimin 1., 3. ve 5. harmonik etkin değerlerini bulunuz. (13 puan)
- d) Bir faz geriliminin bileşke (tüm harmonikler bir arada) etkin değerini bulunuz. (4 puan)
- e) Stator faz sargıları üçgen bağlı ise fazlararası geriliminin bileşke (tüm harmonikler bir arada) etkin değerini bulunuz. (4 puan)

Formüller: n. harmonik için uzanım katsayısı  $k_{un} = \left| \sin\left(\frac{n\rho}{2}\right) \right|$ , dağılım katsayısı  $k_{dn} = \left( \frac{\sin \frac{qn\gamma}{2}}{q \sin \frac{n\gamma}{2}} \right)$

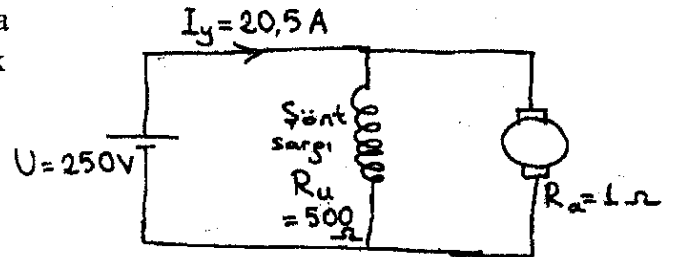
2) Bir şönt motorun armatür ve şönt sargı dirençleri sırasıyla  $R_a = 1\Omega$  ve  $R_u = 500\Omega$ 'dur.  $U = 250V$  uç geriliminde yük altında kaynaktan  $I_y = 20,5A$  çektiğine göre sürtünmeleri ve fırça kayıplarını ihmal ederek

a) Motorun verimini bulunuz. (20 puan)

b) Nm cinsinden yük torku  $T_y$  ve rad/s cinsinden

açılal dönüş hızı  $\omega$  olmak üzere, yükün tork-hız ilişkisi

$T_y = a\omega^2$  ve  $a = 5 \times 10^{-4} \text{ Nm} \cdot \text{s}^2 / \text{rad}^2$  olduğuna göre dönüş hızı devir/dakika cinsinden nedir? (15 puan)



3) Bir iş için seçilecek asenkron motorun  $f = 60\text{Hz}$  frekansta,  $0 < s < 0,15$  aralığında bir kayma değeriyle 800 ila 900 devir/dakika hız aralığında çalıştırılması istenmektedir.

a) Kaç kutuplu bir asenkron motor seçilmelidir? (8 puan)

b) Bu motor  $f = 50\text{Hz}$  frekansta  $s = 0,06$  kayma değeriyle çalıştırılırsa devir/dakika cinsinden rotor dönüş hızı ( $n_r$ ) ne olur? (7 puan)

BAŞARILAR...

Yard. Doç. Dr. Ata SEVİNÇ

ELEKTRİK MAKİNALARI - 2 ARASINAV CEVAP ANAHTARI  
06.05.2006

1) a)  $\omega t = 60^\circ \Rightarrow i_A = I \cos 60^\circ = \frac{1}{2} \rightarrow A$  sargısı için  $NI = 5I$   
 $i_B = I \cos(-60^\circ) = \frac{1}{2} \rightarrow B$  " "  $NI = 5I$   
 $i_C = I \cos(-180^\circ) = -I \rightarrow C$  " "  $NI = -10I$

Çizim soru kâğıdı üzerinde gösterilmiştir.

Şekilden görüldüğü gibi stator çevresi boyunca mmk 2 tam periyod yapmaktadır. Demek ki 2 çift = 4 kutup vardır.

$$P = 4$$

b) Sargı gerilimi ile iletken gerilimi arasındaki ilişki sargı uzanım katsayısına bağlıdır.

$A_1 : 1.$  olukta } Sargı uzanımı  $6-1 = 5$  oluk  
 $- A_1 : 6.$  olukta }

$$\text{Oluk açısı (elk)} = \gamma = \frac{360^\circ}{24} \cdot \frac{P}{2} = 30^\circ$$

$$\text{Sargı uzanımı (elk)} = \rho = 5 \cdot 30^\circ = 150^\circ$$

$$k_{un} = |\sin(n \cdot 75^\circ)| \rightarrow \begin{aligned} k_{u1} &= \sin 75^\circ = 0,9659 \\ k_{u3} &= |\sin 225^\circ| = 0,7071 \\ k_{u5} &= \sin 375^\circ = 0,2588 \end{aligned}$$

$$E_{nrms}/\text{sargı} = (E_{nrms}/\text{ilt}) \cdot 2N \cdot k_{un}$$

$$E_{nrms}/\text{ilt} = \frac{(E_{nrms}/\text{sargı})}{20k_{un}}$$

$$E_{1rms}/\text{ilt} = \frac{85V}{20 \cdot 0,9659} = 4,4V$$

$$E_{3rms}/\text{ilt} = \frac{26V}{20 \cdot 0,7071} = 1,84V$$

$$E_{5rms}/\text{ilt} = \frac{14V}{20 \cdot 0,2588} = 2,7V$$

c) Faz gerilimi ile sargı gerilimi arasındaki ilişki dağılım katsayısına bağlıdır.

Faz kutup başına oluk sayısı =  $q = \frac{24}{3 \times 4} = 2$  ,  $\gamma = 30^\circ$  → Şekilden de görülmüyor

$$k_{dn} = \left| \frac{\sin(n \times 30^\circ)}{2 \sin(n \times 15^\circ)} \right| \rightarrow \begin{matrix} k_{d1} = 0,9659 \\ k_{d3} = 0,7071 \\ k_{d5} = 0,2588 \end{matrix}$$

Faz başına sargı sayısı =  $\frac{24}{3} \times 2 \times \frac{1}{2} = 8$  → Şekilden de görülmüyor.

$$E_{n\text{rms}} / \text{faz} = (E_{n\text{rms}} / \text{sargı}) \times 8 \times k_{dn}$$

$$E_{1\text{rms}} / \text{faz} = 85\text{V} \times 8 \times 0,9659 = 656,8\text{V}$$

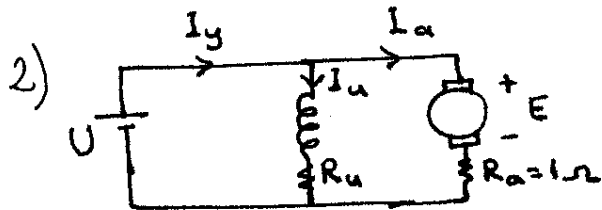
$$E_{3\text{rms}} / \text{faz} = 26\text{V} \times 8 \times 0,7071 = 147,1\text{V}$$

$$E_{5\text{rms}} / \text{faz} = 14\text{V} \times 8 \times 0,2588 = 28,99\text{V}$$

$$d) E_{\text{rms}} / \text{faz} = \sqrt{656,8^2 + 147,1^2 + 28,99^2} \text{ V} = 674\text{V}$$

e) Üçgen bağlandı

$$E_{\text{rms}} (\text{fazlararası}) = E_{\text{rms}} / \text{faz} = 674\text{V}$$



$$I_u = \frac{U}{R_u} = \frac{250\text{V}}{500\Omega} = 0,5\text{A}$$

$$I_a = I_y - I_u = 20,5\text{A} - 0,5\text{A} = 20\text{A}$$

$$E = U - R_a I_a = 250\text{V} - 1\Omega \times 20\text{A} = 230\text{V}$$

$$a) P_{\text{giris}} = U I_y = 250\text{V} \times 20,5\text{A} = 5125\text{W}$$

$$P_{\text{cikis}} = P_m - P_{\text{sür}} = P_m = E I_a = 230\text{V} \times 20\text{A} = 4600\text{W}$$

Gihmal

$$\text{Verim} = \eta = \frac{P_{\text{cikis}}}{P_{\text{giris}}} = \frac{4600}{5125} = \boxed{\%90 = \eta}$$

$$b) \text{Torq} = T_m = \frac{P_m}{\omega} = \frac{4600\text{W}}{\omega} = T_y = a \omega^2$$

$$\rightarrow 4600\text{W} = a \omega^3 \rightarrow \omega = \left( \frac{4600\text{W}}{a} \right)^{1/3} = \left( \frac{4600}{5 \times 10^{-4}} \right)^{1/3} \text{ rad/s}$$

$$\omega = 209,5 \text{ rad/s} \rightarrow n = \frac{\omega}{2\pi} \times 60 \approx \boxed{2000 \text{ devir/dakika} = n}$$

$$3) a) n_s = \frac{120f}{p} = \frac{120 \times 60}{p} \text{ devir/dakika}$$

60 Hz 'deki mümkün senkron hızlar :

$$\begin{array}{lcl} p=2 & \Rightarrow & n_s = 3600 \text{ devir/dakika} \\ & & 1800 \quad \text{"} \\ 4 & \Rightarrow & 1200 \quad \text{"} \\ 6 & \Rightarrow & 900 \quad \text{"} \\ 8 & \Rightarrow & 720 \quad \text{"} \\ 10 & \Rightarrow & \end{array}$$

Motor 10 ya da daha çok kutuplu olamaz.

Çünkü  $n_s > n_r$  olmalı.

6 ya da daha az kutuplu da olamaz. Çünkü 6 kutuplu olsa  $n_r = 800$  devir/dakika için

$$s = \frac{1200 - 800}{1200} = 0,33 > 0,15 \rightarrow \text{sartı sağlamaz.}$$

Daha az kutuplular da şart hiç sağlanmaz.

O halde  $p=8$  kutuplu seçilmelidir. O zaman,

$$n_r > 800 \text{ devir/dakika} \Rightarrow s < \frac{900 - 800}{900} = 0,11 < 0,15$$

$$n_r < 900 \text{ devir/dakika} \Rightarrow s > \frac{900 - 900}{900} = 0$$

$$0 < s < 0,11 \quad \text{sart sağlanmaktadır.} \quad \boxed{p=8}$$

$$b) f = 50 \text{ Hz} \Rightarrow n_s = \frac{120f}{p} = \frac{120 \times 50}{8} \text{ devir/dakika}$$

$$n_s = 750 \text{ devir/dakika}$$

$$s = \frac{750 - n_r}{750} = 0,06 \Rightarrow n_r = -750 \times 0,06 + 750$$

$$\boxed{n_r = 705 \text{ devir/dakika}}$$



## ELEKTRİK MAKİNALARI – 2 YILSONU SINAVI SORULARI

19.06.2006 Normal Öğretim Süre:80 dakika

1) Üç fazlı, Y/Y bağlı 4 kutuplu bilezikli bir asenkron motorun stator/rotor sarım oranı 4 olup 50 Hz'deki yüksüz çalışma ve kilitli rotor test sonuçları hat değerleri olarak aşağıdaki gibi bulunmuştur:

Yüksüz çalışmada:  $V_{h0} = 400V$ ,  $I_{h0} = 1A$ ,  $P_0 = 300W$

Kilitli rotorda:  $V_{hk} = 40V$ ,  $I_{hk} = 10A$ ,  $P_k = 360W$

Ayrıca stator sargılarının iki ucu arasındaki direnç (üçüncü uç boştayken)  $r_{ölçüm} = 2\Omega$  olarak ölçülüyor. Buna göre

- Makinanın tek faza indirgenmiş ve statora yansıtılmış eşdeğer devre parametrelerini yaklaşık olarak bulunuz. (20 puan)
- Rotor sargısı direncini ve endüktansını bulunuz (rotor tarafındaki gerçek direnç ve endüktans). (10 puan)
- Kalkış torkunu maksimum tork yapmak için rotora dışarıdan yıldız bağlı olarak ilave edilecek direncin her bir faz için gerçek değerini (rotor tarafındaki) bulunuz. (10 puan)

Yardımcı formül:  $s_{T_{max}} \approx \frac{r_2'}{\sqrt{r_1^2 + (x_1 + x_2')^2}}$

2) 3 fazlı 50 Hz'lik statoru üçgen bağlı, 6 kutuplu bir asenkron motorun tek faza indirgenmiş ve statora yansıtılmış eşdeğer devre parametreleri,  $r_1 = 0,01\Omega$ ,  $r_2' = 0,01\Omega$ ,  $x_1 = x_2' = 0,45\Omega$ ,  $g_c = 7 \times 10^{-3} s$ ,  $b_m = 7 \times 10^{-3} s$ . Statora 50 Hz'de fazlararası 200V uygulanıyor ve makina dışarıdan mekanik bir etkiyle 1070 devir/dakika hızla döndürülüyor. Bu çalışmada makina hangi modda çalışmaktadır? Makinanın demir ve bakır kaybı ile giriş ve çıkış güçlerini, verimini, giriş torkunu ve stator hat akımının ölçülen (etkin) değerini yaklaşık olarak hesaplayınız. Sürtünmeyi ihmal ediniz. (40 puan)

3) Üç fazlı üçgen bağlı 380V, 6kVA'lık senkron bir alternatöre açık devre ve kısa devre testleri uygulanıyor ve şu sonuçlar elde ediliyor ( $V_t$  fazlararası,  $I_a$  ise hat değerleridir):

Açık Devre Testi

$I_f(A)$	$V_t(V)$
1,0	100
2,0	200
4,3	380

Kısa Devre Testi

$I_f(A)$	$I_a(A)$
1,0	3,0
2,0	6,0
4,0	12,0

Armatür direncini ihmal ederek ( $r_1 \approx 0$ ) makinanın tek faza indirgenmiş eşdeğer devresindeki senkron reaktansını doymuş ve doymamış olarak ve kısa devre oranını bulunuz. (20 puan)

BAŞARILAR ...

Y.Doç.Dr. Ata SEVİNÇ

**ELEKTRİK MAKİNALARI – 2 YILSONU SINAVI SORULARI**  
**19.06.2006 İkinci Öğretim Süre:80 dakika**

1) Bir şönt motorun şönt sargı direnci  $125 \Omega$ , armatür direnci  $1 \Omega$  olup  $250 \text{ V}$  ile beslenirken kaynaktan  $12 \text{ A}$  çekiyor ve  $2000$  devir/dakika hızla dönerek net  $10 \text{ Nm}$  çıkış torku üretiyor. Motorun sürtünme güç kaybını, sargılardaki bakır kayıplarını ve verimini bulunuz. (30 puan)

2) 3 fazlı  $50 \text{ Hz}$ 'lik statoru yıldız bağlı, 4 kutuplu bir asenkron motorun tek faza indirgenmiş ve statora yansıtılmış eşdeğer devre parametreleri,  $r_1 = 0,7 \Omega$ ,  $r_2' = 0,5 \Omega$ ,  $x_1 = x_2' = 0,3 \Omega$ ,  $g_c = 7 \times 10^{-3} \text{ s}$ ,  $b_m = 7 \times 10^{-3} \text{ s}$ . Statora  $50 \text{ Hz}$ 'de fazlararası  $380 \text{ V}$  uygulanıyor ve makina  $1425$  devir/dakika hızla dönüyor. Sürtünme ve rüzgâr kayıpları toplam  $500 \text{ W}$ 'dır. Makinanın demir ve bakır kaybı ile giriş ve net çıkış güçlerini, verimini, net çıkış torkunu ve stator hat akımının ölçülen (etkin) değerini yaklaşık olarak hesaplayınız. (40 puan)

3) 2. sorudaki asenkron motor, bilezikli bir asenkron motor ve stator/rotor sarım oranı 6 olsun. Kalkış torkunu maksimum yapmak için rotora dışarıdan yıldız bağlı olarak ilave edilecek direncin her bir faz için gerçek değerini (rotor tarafındaki) bulunuz. (10 puan)

Yardımcı formül:  $s_{T \max} \approx \frac{r_2'}{\sqrt{r_1^2 + (x_1 + x_2')^2}}$

4) Üç fazlı yıldız bağlı  $60 \text{ Hz}$ ,  $240 \text{ V}$ ,  $6 \text{ kVA}$ 'lık senkron bir alternatöre  $50 \text{ Hz}$ 'de açık devre ve kısa devre testleri uygulanıyor ve şu sonuçlar elde ediliyor ( $V_t$  fazlararası,  $I_a$  ise hat değerleridir):

Açık Devre Testi

$I_f(\text{A})$	$V_t(\text{V})$
1,0	50
2,0	100
5,0	200

Kısa Devre Testi

$I_f(\text{A})$	$I_a(\text{A})$
1,0	3,0
2,0	6,0
5,0	15,0

Armatür direncini ihmal ederek ( $r_1 \approx 0$ ) makinanın  $60 \text{ Hz}$ 'deki çalışmaya göre tek faza indirgenmiş eşdeğer devresindeki senkron reaktansını doymuş ve doymamış olarak bulunuz. (20 puan)

**BAŞARILAR ...**

**Y.Doç.Dr. Ata SEVİNÇ**

ELEKTRİK MAKİNALARI-2 YILSONU SINAVI CEVAP ANAHTARI  
19.06.2006 Normal Öğretim

1) Tek fazla indirgenmiş değerler (Y bağlantı için):

$$V_{10} = 400V/\sqrt{3} = 230,9V$$

$$I_{10} = 1A$$

$$P_{10} = 300W/3 = 100W$$

$$V_{1k} = 40V/\sqrt{3} = 23,09V$$

$$I_{1k} = 10A$$

$$P_{1k} = 360W/3 = 120W$$

$$r_1 = 2\Omega/2 = 1\Omega = r_1$$

$$a) g_c = \frac{100W}{(230,9V)^2} = 1,9 mS = g_c$$

$$y_0 = \frac{1A}{230,9V} = 4,3 mS$$

$$b_m = \sqrt{4,3^2 - 1,9^2} mS = 3,9 mS = b_m$$

$$r_1 + r_2' = \frac{120W}{(10A)^2} = 1,2\Omega$$

$$z_k = \frac{23,09V}{10A} = 2,31\Omega$$

$$x_1 + x_2' = \sqrt{2,31^2 - 1,2^2} \Omega = 1,97\Omega$$

$$r_2' = 1,2\Omega - r_1 = 0,2\Omega = r_2'$$

$$x_1 = x_2' = \frac{1,97\Omega}{2} = 0,99\Omega = x_1 = x_2'$$

$$b) r_2 = \frac{r_2'}{(N_1/N_2)^2} = \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2 r_2' = \frac{0,2\Omega}{4^2} = 0,0125\Omega = r_2$$

$$x_2 = \frac{0,99\Omega}{4^2} = 0,0619\Omega = 2\pi f L_r$$

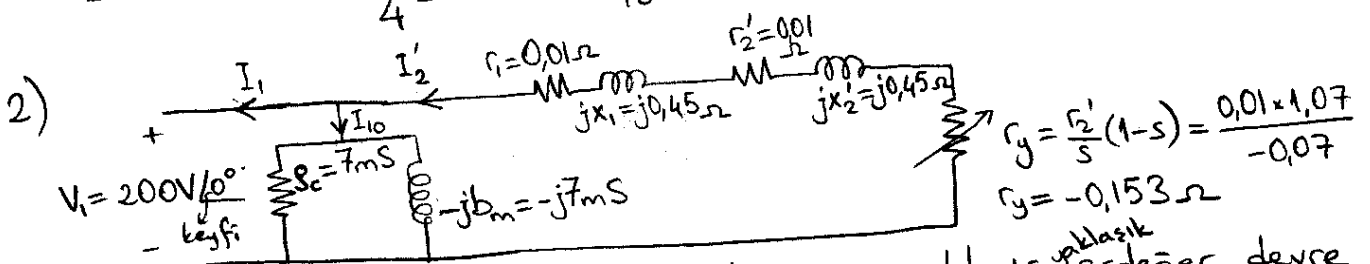
↳ stator frekansı = 50Hz

$$L_r = \frac{0,0619}{2\pi \times 50} H = 197\mu H = L_r$$

$$c) \text{Kalkışta } s = 1 = s_{Tmax} = \frac{r_2'_{\text{Toplam}}}{\sqrt{r_1'^2 + (x_1 + x_2')^2}} = \frac{r_2'_{\text{Toplam}}}{\sqrt{1^2 + 1,97^2}} = 1$$

$$r_2'_{\text{Toplam}} = 2,21\Omega = \underset{0,2\Omega}{r_2'} + r_2'_{\text{ilave}} \rightarrow r_2'_{\text{ilave}} = 2,01\Omega$$

$$r_2'_{\text{ilave}} = \frac{r_2'_{\text{ilave}}}{4^2} = \frac{2,01\Omega}{16} = 0,1256\Omega$$



Tek fazla indirgenmiş ve statora yansıtılmış eşdeğer devre  
Δ bağlantı →  $V_1 = 200V$ ,  $n_s = \frac{120 \times 50}{6} \text{ dev/dk} = 1000 \text{ dev/dk}$ ,  $s = \frac{1000 - 1070}{1000} = -0,07$

$S < 0$  olduğu için kina jeneratör modunda çalışmaktadır. Bu yüzden devredeki  $I_2'$  ve  $I_1$  yönleri şekildeki gibi tanımlanmıştır. Doğru kullanmak şartıyla tersi olarak da tanımlanabilirdi.

$$P_{Fe} = 3g_c |V_1|^2 = 3 \times 7 \times 10^{-3} \times 200^2 \text{ W} = \boxed{840 \text{ W} = P_{Fe}} : \text{Demir kaybı}$$

$$I_2' = \frac{V_1}{\sqrt{(r_1+r_2'+r_y) + j(x_1+x_2')}} = \frac{-200 \text{ A}}{(0,01+0,01-0,153) + j(0,45+0,45)} = \frac{-200}{0,910 \angle 98,4^\circ} \text{ A}$$

akımın yön tanımından dolayı

$$I_2' = \frac{219,8 \text{ A}}{|I_2'|} \angle 81,6^\circ = 32,1 + j217,4 \text{ A}$$

$$P_{Cu} = 3 \times (r_1+r_2') |I_2'|^2 = 3 \times (0,01+0,01) \times 219,8^2 \text{ W}$$

$$\boxed{P_{Cu} = 2899 \text{ W}} : \text{Bakır kaybı}$$

$$P_{giris} = -P_m = -3r_y |I_2'|^2 = 3 \times 0,153 \times 219,8^2 \text{ W} = \boxed{22175 \text{ W} = P_{giris}}$$

Güçtürme ihmal

$$P_{cikis} = -P_m - P_{Fe} - P_{Cu} = 22175 - 840 - 2899 \text{ W} = \boxed{18436 \text{ W} = P_{cikis}}$$

$$\text{Verim} = \eta = \frac{18436}{22175} = \boxed{\%83 = \eta}$$

$$\text{Giris torku} = T_{giris} = \frac{P_{giris}}{\omega_r} ; \quad \omega_r = 2\pi \frac{n_r}{60}$$

$$\omega_r = 2\pi \frac{1070}{60} \text{ rad/s} = 112 \text{ rad/s}$$

$$T_{giris} = \frac{22175}{112} \text{ Nm} = \boxed{198 \text{ Nm} = T_{giris}}$$

$$I_1 = I_2' - I_{10} , \quad I_{10} = (g_c - jb_m) V_1 = (7-j7) \times 10^{-3} \times (200+j0) \text{ A}$$

$$I_{10} = 1,4 - j1,4 \text{ A}$$

$$I_1 = 32,1 + j217,4 - 1,4 + j1,4 \text{ A} = 30,7 + j216 \text{ A}$$

$$I_1 = \frac{218,2 \text{ A}}{|I_1|} \angle 81,9^\circ$$

$$\Delta \text{ için ölçülen hat akımı} : |I_h| = \sqrt{3} |I_1| = \sqrt{3} \times 218,2 \text{ A} = \underline{\underline{377,9 \text{ A} = |I_h|}}$$

Dikkat : İstenirse jeneratörün çıkış gücü şöyle de bulunabilirdi:

$$P_{cikis} = \text{Gessel} \{ 3 V_1 I_1^* \} = 3 \times 200 \text{ V} \times 218,2 \text{ A} \times \cos(0^\circ - 81,9^\circ)$$

$$P_{cikis} = 18446 \text{ W} \rightarrow \text{hesaplardaki hassasiyet farkı ile} \approx 18436 \text{ W}$$

$$3) r_1 \approx 0 \Rightarrow X_s \approx Z_s$$

$$I_f = 4,3A \Rightarrow V_t: \text{anma değeri}, I_a = \frac{12,0}{4,0} \times 4,3A = 12,9A$$

(orantı ile)

$$X_{s(\text{doymuş})} = \frac{380V}{12,9A/\sqrt{3}} = 51\Omega = X_{s(\text{doymuş})}$$

↘ süzgeç

Doymamış için ADK'nın doğrusal bölgesini mesela  $I_f = 2,0A$ 'i kullanalım:

$$X_{s(\text{doymamış})} = \frac{200V}{6,0A/\sqrt{3}} = 57,7\Omega = X_{s(\text{doymamış})}$$

$$\text{Anma akımı (hat)} = I_a^* = \frac{6 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 380V} = 9,12A$$

KDK'da bu akımı veren uyartım akımı, doğru orantıyla:

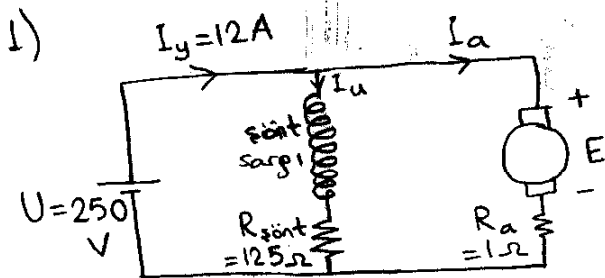
$$\frac{4,0}{12,0} \times 9,12A = 3,04A$$

ADK'da anma gerilimini veren uyartım akımı = 4,3A

$$\text{Kısa devre oranı} = \frac{4,3A}{3,04A} = 1,41 = k_{sd}$$

## ELEKTRİK MAKİNALARI-2 YILSONU SINAVI CEVAP ANAHTARI

19.06.2006 İkinci Öğretim



$$I_u = \frac{U}{R_{sürt}} = \frac{250V}{125\Omega} = 2A$$

$$I_a = I_y - I_u = 12 - 2A = 10A$$

$$E = U - R_a I_a = 250 - 1 \times 10V = 240V$$

$$\text{Brüt çıkış gücü} = P_m = E I_a = 240 \times 10W = 2400W$$

$$\text{Net çıkış gücü} = P_{\text{çıkış}} = T_{\text{çıkış}} \times \omega = 10Nm \times (2\pi \times \frac{2000}{60} \text{ rad/s}) = 2094W$$

$$\text{Sürtünme güç kaybı} = P_m - P_{\text{çıkış}} = 2400 - 2094W = 306W = P_{sürt}$$

$$\text{Bakır kaybı} = P_{cu} = 125\Omega \times (2A)^2 + 1\Omega \times (10A)^2 = 600W = P_{cu}$$

$$\text{Giriş gücü} = P_{\text{giriş}} = 250V \times 12A = 3000W$$

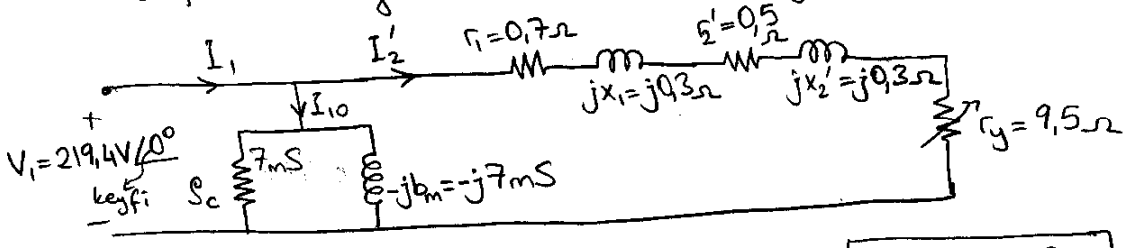
$$\text{Verim} = \eta = 2094/3000 = \%70 = \eta$$

2) Y bağlantı →  $V_1 = 380V/\sqrt{3} = 219,4V$

$n_s = \frac{120 \times 50}{4} \text{ dev/dk} = 1500 \text{ dev/dk}$        $s = \frac{1500 - 1425}{1500} = 0,05$

Mekanik güç karşılık gelen direnç =  $r_y = \frac{r_2'}{s}(1-s) = \frac{0,5\Omega \times 0,95}{0,05} = 9,5\Omega$

Tek faza indirgenmiş ve statora yansıtılmış yaklaşık eşdeğer devre:



$P_{Fe} = 3 \cdot s_c |V_1|^2 = 3 \times 7 \times 10^{-3} \times 219,4^2 \text{ W} = \boxed{1011 \text{ W} = P_{Fe}}$  : Demir kaybı

$I_2' = \frac{V_1}{(r_1 + r_2' + r_y) + j(x_1 + x_2')} = \frac{219,4 + j0}{(0,7 + 0,5 + 9,5) + j(0,3 + 0,3)} \text{ A} = \frac{|I_2'|}{-3,2^\circ} = 20,44 - j1,14 \text{ A}$

$P_{cu} = 3 \cdot (r_1 + r_2') |I_2'|^2 = 3 \cdot (0,7 + 0,5) \times 20,47^2 \text{ W} = \boxed{1508 \text{ W} = P_{cu}}$  : Bakır kaybı

Brüt akış gücü =  $P_m = 3 r_y |I_2'|^2 = 3 \times 9,5 \times 20,47^2 \text{ W} = 11942 \text{ W} = P_m$

$P_{akış} = P_m - P_{sürt} = 11942 - 500 \text{ W} = \boxed{11442 \text{ W} = P_{akış}}$  : Net akış gücü

$P_{giriş} = P_m + P_{cu} + P_{Fe} = 11942 + 1508 + 1011 \text{ W} = \boxed{14461 \text{ W} = P_{giriş}}$   
Giriş gücü

Verim =  $\eta = \frac{11442}{14461} = \boxed{\%79 = \eta}$

Net akış torkü =  $T_{akış} = \frac{P_{akış}}{\omega_r} = \frac{11442 \text{ W}}{2\pi \frac{1425}{60} \text{ rad/s}} = \boxed{76,7 \text{ Nm} = T_{akış}}$

$I_1 = I_2' + I_{10}$  ,       $I_{10} = (s_c - j b_m) V_1 = (7 - j7) \times 10^{-3} \times 219,4 \angle 0^\circ = 1,54 - j1,54 \text{ A}$

$I_1 = 20,44 - j1,14 + 1,54 - j1,54 \text{ A} = 21,98 - j2,68 \text{ A} = \frac{22,14 \text{ A}}{|I_1|} \angle -6,95^\circ = I_1$

Y için ölçülen hat akımı =  $|I_h| = |I_1| = \underline{\underline{22,14 \text{ A} = |I_h|}}$

Dikkat: İstenirse motorun giriş gücü şöyle de bulunabilirdi:

$P_{giriş} = \text{Gerçel} \{ 3 V_1 I_1^* \} = 3 \times 219,4 \text{ V} \times 22,14 \text{ A} \times \cos(0^\circ - [-6,95^\circ])$

$P_{giriş} = 14465 \text{ W} \rightarrow$  hesaplardaki hassasiyet farkı ile  $\approx 14461 \text{ W}$

$$3) \text{ Kalkışta } s=1 = S_{\text{max}} = \frac{r_2'_{\text{Toplam}}}{\sqrt{r_1'^2 + (x_1 + x_2')^2}} = \frac{r_2'_{\text{Toplam}}}{\sqrt{0,7^2 + (0,3+0,3)^2}} = 1$$

$$r_2'_{\text{Toplam}} = 0,922 \, \Omega = r_2' + r_2'_{\text{ilave}} \rightarrow r_2'_{\text{ilave}} = 0,922 - 0,5 \, \Omega = 0,422 \, \Omega$$

$$r_2'_{\text{ilave}} = \frac{r_2'_{\text{ilave}}}{(N_1/N_2)^2} = \frac{0,422 \, \Omega}{6^2} = \boxed{0,0117 \, \Omega = r_2'_{\text{ilave}}}$$

4) ADK 'da aynı uyartım akımına karşılık gelen gerilimler frekansla doğru orantılıdır. Yani 50 Hz 'deki ADK gerilimlerini  $60/50 = 1,2$  ile çarparak 60 Hz 'deki ADK sonuçlarını buluruz:

60 Hz için ADK:

$I_f$ (A)	$V_t$ (V)
1,0	$50 \times 1,2 = 60$
2,0	$100 \times 1,2 = 120$
5,0	$200 \times 1,2 = 240 \rightarrow$ arma değeri

KDK sonuçları ise  $r_1 \approx 0$  için frekanstan bağımsızdır. Çünkü hem  $E_f$ , hem de  $X_s$  frekansla aynı oranda değişir.

Buna göre  $r_1 \approx 0$  için  $X_s \approx Z_s$  olduğundan:

$$X_{s(\text{doymuş})} = \frac{240V/\sqrt{3}}{15A} \quad (\gamma \text{ olduğu için})$$

$$\boxed{X_{s(\text{doymuş})} = 9,24 \, \Omega}$$

Doymamış için ADK 'nın doğrusal bölgesini, mesela

$I_f = 1,0 \, A$  'i kullanalım:

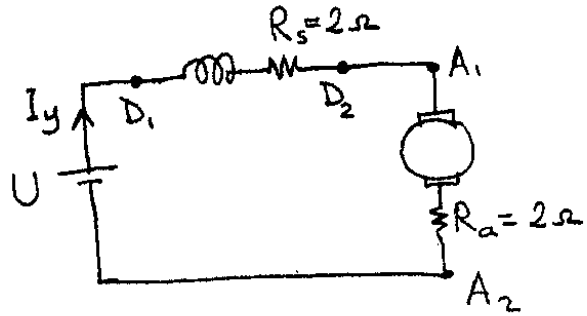
$$X_{s(\text{doymamış})} = \frac{60V/\sqrt{3}}{3A} = \boxed{11,55 \, \Omega = X_{s(\text{doymamış})}}$$

## ELEKTRİK MAKİNALARI – 2 ARASINAV SORULARI

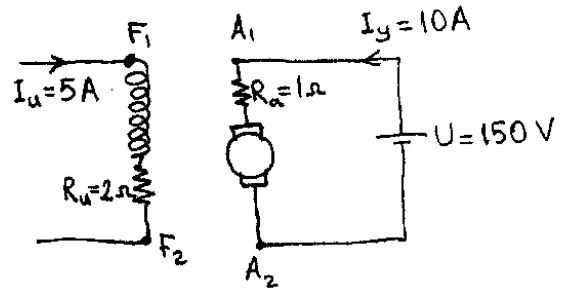
17 Nisan 2008 Süre: 75 dakika

1) Elektrik motorlarında genellikle (yük çok büyük değilse) manyetik akı azaltılırken hız artar. Tork ile akı orantılı olduğu halde akı azaltılırken hızın nasıl olup da arttığını şönt motorlar üzerinde bir mantık zinciri halinde açıklayınız. (15 puan)

2) Bir seri motor,  $U=240V$  altında, uyarım akımı ile manyetik akının doğru orantılı olduğu bölgede çalışmaktadır. Motor ilk durumda,  $I_y=I_{y1}=10A$  akım ve  $n=n_1=2000$  devir/dakika hız değerleriyle çalışmaktadır. İkinci durumda ise motor,  $I_y=I_{y2}=15A$  akımıyla başka bir yük altında çalışıyor. İkinci durumda motorun hızı nedir? (20 puan)



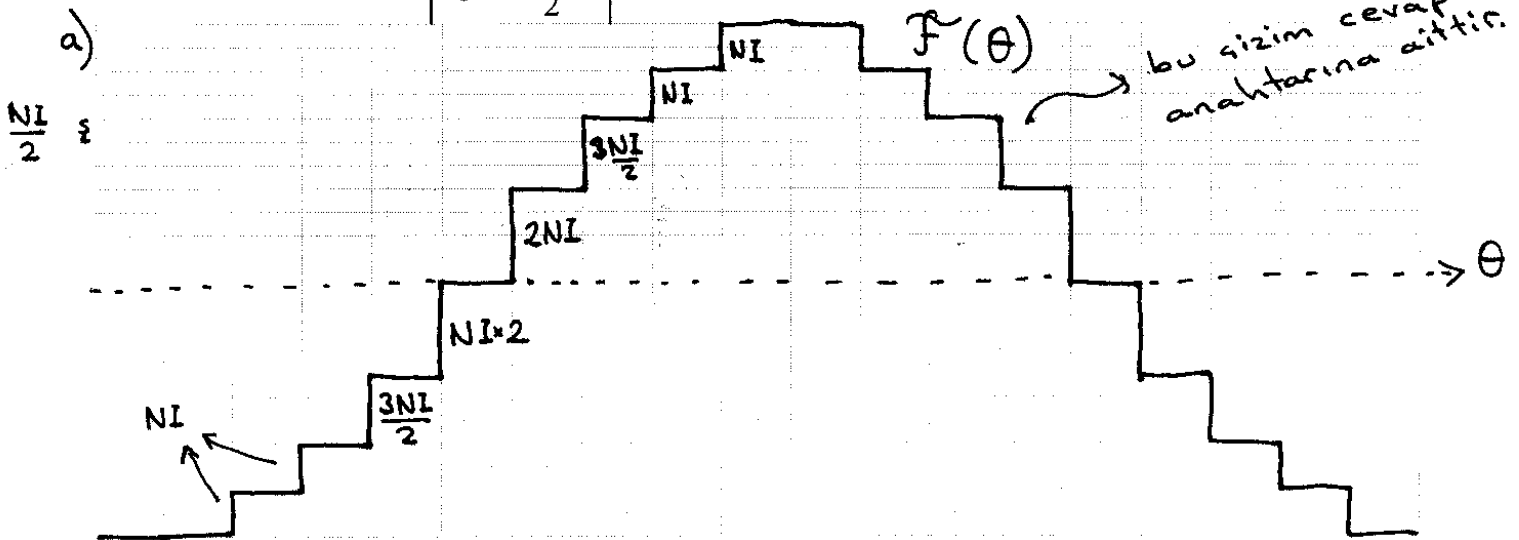
3) Şekilde gösterilen yabancı uyarımlı motor,  $n=1500$  devir/dakika hızla ve  $P_{sür}=200W$  sürtünme kaybıyla çalışmaktadır. Bu çalışma için motorun çıkış torkunu ve verimini hesaplayınız. (30 puan)



4) Üç fazlı 18 oluklu bir AC makina statoruna sargılar gösterildiği gibi çift katlı olarak yerleştirilmiştir. Makina hava aralığı düzgün (silindirik rotorlu), rotor ve statorun bağıl manyetik geçirgenliği  $\mu_r \approx \infty$  kabul edilmektedir. Her sargı  $N$  sarımlıdır. Stator sargılarına  $i_A = I \cos \omega t$ ,  $i_B = I \cos(\omega t - 120^\circ)$ ,  $i_C = I \cos(\omega t - 240^\circ)$  akımları uygulanıyor.

- Hava aralığındaki bileşke mmk dağılımını  $\omega t = 60^\circ$  olan an için çiziniz. (19 puan)
- Sargı uzanım katsayısını 1., 3. ve 5. harmonikler için bulunuz. (8 puan)
- Sargı dağılım katsayısını 1., 3. ve 5. harmonikler için bulunuz. (8 puan)

$$k_{un} = \left| \sin\left(\frac{n\rho}{2}\right) \right| \quad k_{dn} = \frac{\sin\left(\frac{qn\gamma}{2}\right)}{q \sin\left(\frac{n\gamma}{2}\right)}$$



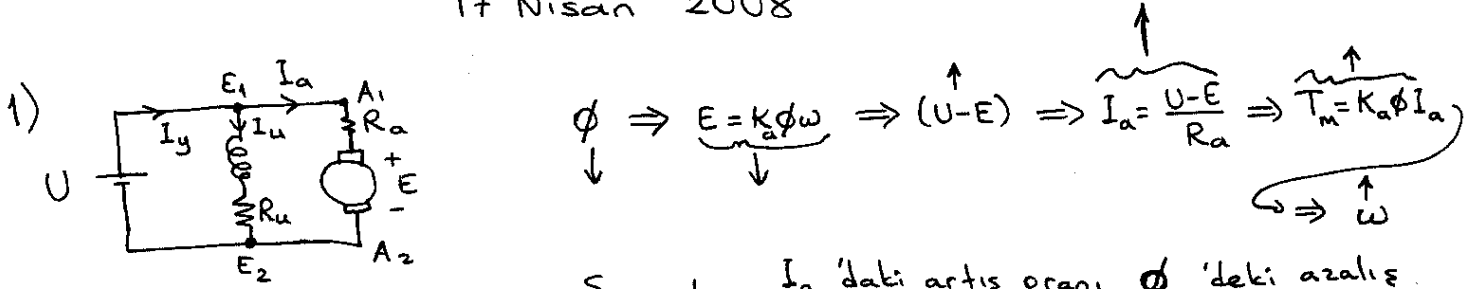
A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	-C <sub>1</sub>	-C <sub>2</sub>	-C <sub>3</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	-A <sub>4</sub>	-A <sub>5</sub>	-A <sub>6</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	-B <sub>4</sub>	-B <sub>5</sub>	-B <sub>6</sub>
-B <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>	-C <sub>4</sub>	-C <sub>5</sub>	-C <sub>6</sub>	B <sub>4</sub>	B <sub>5</sub>	B <sub>6</sub>	-A <sub>1</sub>	-A <sub>2</sub>	-A <sub>3</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	-B <sub>1</sub>	-B <sub>2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
0	NI	NI	3NI/2	2NI	2NI	3NI/2	NI	NI	0	-NI	-NI	-3NI/2	-2NI	-2NI	-3NI/2	-NI	-NI

BAŞARILAR ... Yardı. Doç. Dr. Atıf SEVİNÇ



# ELEKTRİK MAKİNALARI-2 ARASINAV CEVAP ANAHTARI:

17 Nisan 2008



$$\phi \Rightarrow E = K_a \phi \omega \Rightarrow (U - E) \Rightarrow I_a = \frac{U - E}{R_a} \Rightarrow T_m = K_a \phi I_a$$

$\omega \Rightarrow T_m$

Sonuçta  $I_a$  'daki artış oranı  $\phi$  'deki azalış oranından büyükse  $T_m$  artarak hızı artırır.

2)  $E_1 = 240V - (2\Omega + 2\Omega) \cdot 10A = 200V = E_1 = K_a \phi_1 \omega_1$

$\phi \propto I_u = I_y$  ,  $\omega \propto n \Rightarrow E = K I_y n$

$E_1 = K I_{y1} n_1 \Rightarrow K = \frac{200V}{10A \cdot 2000 \text{ dev/dk}} = 0,01 \Omega \cdot \text{dk/dev}$

$E_2 = 240V - (2\Omega + 2\Omega) \cdot 15A = 180V = E_2 = K I_{y2} n_2 \Rightarrow n_2 = \frac{180V}{K I_{y2}}$

$n_2 = \frac{180V}{(0,01 \Omega \cdot \text{dk/dev}) \cdot 15A} = \boxed{1200 \text{ dev/dk} = n_2}$

3)  $E = 150V - 1\Omega \cdot 10A = 140V \rightarrow P_m = E I_a = 140V \cdot 10A = 1400W$

$P_{\text{çıkış}} = P_m - P_{\text{sür}} = 1400W - 200W = \boxed{1200W = P_{\text{çıkış}}}$

$\omega = 2\pi \frac{1500}{60} \text{ rad/s} = 157,1 \text{ rad/s}$

$T_{\text{çıkış}} = \frac{P_{\text{çıkış}}}{\omega} = \frac{1200W}{157,1 \text{ rad/s}}$

Çıkış torku =  $\boxed{T_{\text{çıkış}} = 7,64 \text{ Nm}}$

$P_{\text{giriş}} = U I_y + R_u I_u^2$

$P_{\text{giriş}} = 150V \cdot 10A + 2\Omega \cdot (5A)^2 = \boxed{1550W = P_{\text{giriş}}}$

Verim =  $\eta = \frac{1200}{1550} = \boxed{\%77,4 = \eta}$

4) Kutup çifti sayısı = 1, yani makina 2 kutuplu.  $\rightarrow$  Elk. açısı = Mek. açısı  
Oluk açısı =  $\gamma = \frac{360^\circ}{18} = 20^\circ / \text{oluk}$

b) Sargı uzanımı =  $(11-1)$  oluk  $\rightarrow p = 10 \text{ oluk} \times 20^\circ / \text{oluk} = 200^\circ \text{ elk.}$

$k_{u1} = \left| \sin\left(\frac{1 \cdot 200^\circ}{2}\right) \right| = \boxed{0,9848 = k_{u1}}$

$k_{u3} = \left| \sin 300^\circ \right| = \boxed{0,8660 = k_{u3}}$

$k_{u5} = \left| \sin 500^\circ \right| = \left| \sin 140^\circ \right| = \boxed{0,6428 = k_{u5}}$

c) Faz kutup başına  $q = 3$  oluk var (yani  $A_1, A_2, A_3$  olması gibi).

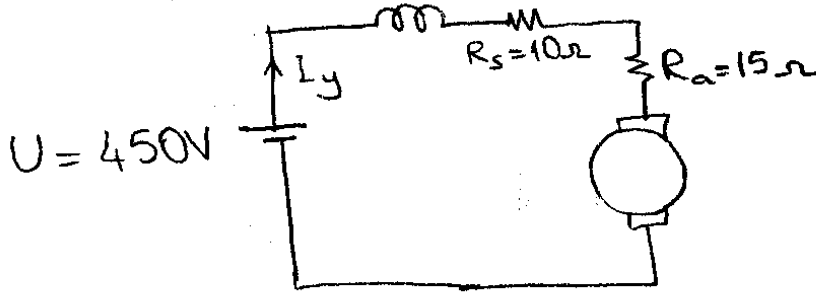
$k_{d1} = \left| \frac{\sin(3 \cdot \frac{1 \cdot 20^\circ}{2})}{3 \sin(\frac{1 \cdot 20^\circ}{2})} \right| = \boxed{0,9598 = k_{d1}}$

$k_{d3} = \left| \frac{\sin 90^\circ}{3 \sin 30^\circ} \right| = \boxed{0,6667 = k_{d3}}$

$k_{d5} = \left| \frac{\sin 150^\circ}{3 \sin 50^\circ} \right| = \boxed{0,2176 = k_{d5}}$

**ELEKTRİK MAKİNALARI – 2 FİNAL SINAVI SORULARI**  
**09.06.2008 Süre: 80 dakika**

1. Bir seri motor, akı ile uyartım akımının doğru orantılı olduğu bölgede  $U=450V$  ile çalışıyor. Birinci çalışmada  $I_{y1}=10A$  iken hız  $n_1=2000$  devir/dakikadır. İkinci çalışmada  $I_{y2}=8A$  olduğuna göre yeni hız ( $n_2$ ) nedir? (20 puan)



2. Üç fazlı, 50 Hz'lik, statoru Y bağlı, 2 kutuplu, statoru 24 oluklu, her oluğunda **tam uzanımlı** iki katlı sargı bulunan, her sargısı  $N=10$  sarımlı bir AC makinanın stator sargıları üzerindeki manyetik akı genlikleri harmoniklere göre şöyledir: Temel bileşen:  $\hat{\Phi}_1 = 0,8$  Weber, 3. harmonik:  $\hat{\Phi}_3 = 0,3$  Weber, 5. harmonik:  $\hat{\Phi}_5 = 0,2$  Weber. Buna göre tek faz geriliminin ve fazlararası geriliminin etkin değerlerini bulunuz. (30 puan)

3. Üç fazlı, 50 Hz'lik, statoru **üçgen** bağlı 10 kutuplu bir asenkron jeneratörün statoruna fazlararası 1000V uygulanırken, mekanik bir dış etkiyle 660 devir/dakika hızla döndürülüyor. Yaklaşık eşdeğer devre kullanarak ve sürtünmeyi ihmal ederek, jeneratörün giriş ve çıkış güçlerini, verimini ve giriş torkunu bulunuz. . Tek faza indirgenmiş ve statora yansıtılmış eşdeğer devre parametreleri:  $r_1 = r_2' = 1\Omega$ ,  $x_1 = x_2' = 2\Omega$ ,  $g_c = 1mS$ ,  $b_m = 2mS$  (30 puan)

4. Üç fazlı, statoru **üçgen** bağlı bir asenkron makinaya yüksüz çalışma testi uygulandığında  $V_{h0} = 1000V$ ,  $I_{h0} = 1A$ ,  $P_0 = 300W$  ve kilitli rotor testi uygulandığında  $V_{hk} = 10V$ ,  $I_{hk} = 10A \cdot \sqrt{3}$ ,  $P_k = 240W$  ölçülüyor. Stator sargı uçlarının birisi boştayken diğer ikisi arasındaki direnç ise  $0,4\Omega$ 'dur. Tek faza indirgenmiş ve statora yansıtılmış eşdeğer devre parametrelerini yaklaşık olarak bulunuz. (20 puan)

**BAŞARILAR...**

**Yar. Doç. Dr. Ata SEVİNÇ**

ELEKTRİK MAKİNALARI-2 FİNAL CEVAP ANAHTARI:  
9.6.2008

$$1) E_1 = U - (R_a + R_s) I_{y1} = 450 - (10 + 15) \cdot 10 \text{ V} = 200 \text{ V} = E_1$$

$$E_2 = 450 - (10 + 15) \cdot 8 \text{ V} = 250 \text{ V} = E_2$$

$$E = K_a \phi \omega = K I_y n \rightarrow \frac{E_2}{E_1} = \frac{K I_{y2} n_2}{K I_{y1} n_1}$$

$$\frac{250}{200} = \frac{8 \cdot n_2}{10 \cdot 2000 \text{ dev/dk}} \rightarrow \boxed{n_2 = 3125 \text{ devir/dakika}}$$

$$2) E_{nrms} / \text{sargı} = \sqrt{2} \pi f_n N \Phi_n k_{un}$$

Sargılar tam uzanımlı olduğu için,  $k_{un} = 1$

$$E_{1rms} / \text{sargı} = \sqrt{2} \pi 50 \cdot 10 \cdot 0,8 \text{ V} = 1777,2 \text{ V}$$

$$E_{3rms} / \text{sargı} = \sqrt{2} \pi 3 \cdot 50 \cdot 10 \cdot 0,3 \text{ V} = 1999,3 \text{ V}$$

$$E_{5rms} / \text{sargı} = \sqrt{2} \pi 5 \cdot 50 \cdot 10 \cdot 0,2 \text{ V} = 2221,4 \text{ V}$$

$$E_{nrms} / \text{faz} = N_{faz} \cdot (E_{nrms} / \text{sargı}) \cdot k_{dn}$$

$$q = \frac{24 \text{ oluk}}{3 \text{ faz} \cdot 2 \text{ kutup}} = 4 \text{ oluk/faz-kutup}$$

$$\gamma = \frac{360^\circ}{24 \text{ oluk}} = 15^\circ \text{ (2 kutuplu olduğundan, mek. açı = elk. açı)}$$

$$k_{d1} = \left| \frac{\sin\left(\frac{4 \cdot 1 \cdot 15^\circ}{2}\right)}{4 \sin\left(\frac{1 \cdot 15^\circ}{2}\right)} \right| = 0,95766 = k_{d1}$$

$$k_{d3} = \left| \frac{\sin\left(\frac{4 \cdot 3 \cdot 15^\circ}{2}\right)}{4 \sin\left(\frac{3 \cdot 15^\circ}{2}\right)} \right| = 0,65328 = k_{d3}$$

$$k_{d5} = \left| \frac{\sin\left(\frac{4 \cdot 5 \cdot 15^\circ}{2}\right)}{4 \sin\left(\frac{5 \cdot 15^\circ}{2}\right)} \right| = 0,20533 = k_{d5}$$

$$N_{faz} = \frac{24 \text{ oluk}}{3 \text{ faz} \cdot 2 \text{ oluk}} \cdot 2 \text{ kat} = 8 = N_{faz}$$

$\downarrow$   
 her sargı 2 olukta  
 olduğu için

$$E_{1\text{rms/faz}} = 8 \times 1777,2 \text{ V} \times 0,95766 = 13615,6 \text{ V}$$

$$E_{3\text{rms/faz}} = 8 \times 1999,3 \text{ V} \times 0,65328 = 10448,8 \text{ V}$$

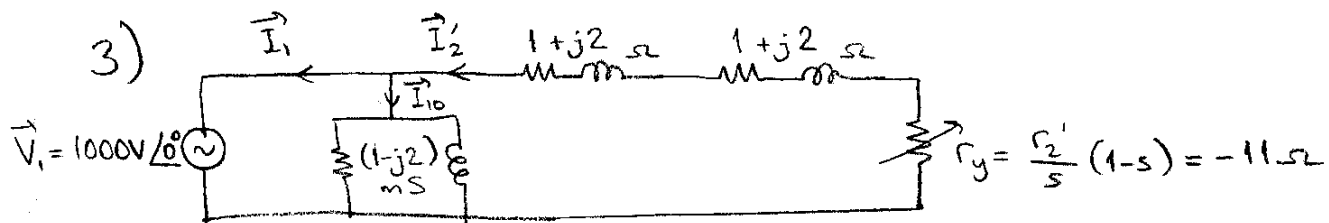
$$E_{5\text{rms/faz}} = 8 \times 2221,4 \text{ V} \times 0,20533 = 3649,0 \text{ V}$$

$$\text{Tek faz gerilimi} = E_{\text{rms/faz}} = \sqrt{13615,6^2 + 10448,8^2 + 3649,0^2} \text{ V}$$

$$E_{\text{rms/faz}} = 17546 \text{ V}$$

$$\text{Fazlararası gerilim (Y)} = E_{\text{rms (fazlararası)}} = \sqrt{3} \sqrt{13615,6^2 + 3649,0^2} \text{ V}$$

$$E_{\text{rms (fazlararası)}} = 24415 \text{ V}$$



$$n_s = \frac{120 \times 50}{10} \text{ dev/dk} = 600 \text{ dev/dk} \rightarrow s = \frac{600 - 660}{600} = -0,1$$

$$r_y = \frac{1 \Omega}{-0,1} (1 + 0,1) = -11 \Omega$$

$$I_2' = \frac{1000\text{V}}{\sqrt{(1+1-11)^2 + (2+2)^2}} = 101,53 \text{ A}$$

$$P_m = -3 \times (-11 \Omega) \times (101,53 \text{ A})^2 = 340175 \text{ W} = P_{\text{giris}} \quad (\text{çünkü } P_{\text{sür}} = 0)$$

$$P_{\text{cu}} = 3 \times (1+1) \times 101,53^2 \text{ W} = 61850 \text{ W} = P_{\text{cu}}$$

$$P_{\text{Fe}} = 3 \times 1 \times 10^{-3} \text{ S} \times (1000\text{V})^2 = 3000 \text{ W} = P_{\text{Fe}}$$

$$P_{\text{cikis}} = P_{\text{giris}} - P_{\text{cu}} - P_{\text{Fe}} = 340175 - 61850 - 3000 \text{ W} = 275325 \text{ W} = P_{\text{cikis}}$$

$$\text{Verim} = \eta = \frac{275325}{340175} = \%80,9 = \eta$$

$$\omega = 2\pi \frac{660}{60} \text{ rad/s} = 69,12 \text{ rad/s} \rightarrow T_{\text{giris}} = \frac{340175}{69,12} \text{ Nm} = 4922 \text{ Nm} = T_{\text{giris}}$$

$$4) V_{10} = 1000 \text{ V}, \quad I_{10} = \frac{1 \text{ A}}{\sqrt{3}} = 0,577 \text{ A}, \quad P_{10} = \frac{300 \text{ W}}{3} = 100 \text{ W}$$

$$g_c = \frac{100 \text{ W}}{(1000 \text{ V})^2} = \boxed{0,1 \text{ mS} = g_c} \quad \gamma_0 = \frac{0,577 \text{ A}}{1000 \text{ V}} = 0,577 \text{ mS}$$

$$b_m = \sqrt{0,577^2 - 0,1^2} \text{ mS} = \boxed{0,568 \text{ mS} = b_m}$$

$$r_{\text{ölk}_\Delta} = 0,4 \Omega \rightarrow r_1 = \frac{3}{2} \times 0,4 \Omega = \boxed{0,6 \Omega = r_1}$$

$$V_{1k} = 10 \text{ V}, \quad I_{1k} = \frac{10\sqrt{3} \text{ A}}{\sqrt{3}} = 10 \text{ A}, \quad P_{1k} = \frac{240 \text{ W}}{3} = 80 \text{ W}$$

$$(r_1 + r_2') = \frac{80 \text{ W}}{(10 \text{ A})^2} = 0,8 \Omega \rightarrow r_2' = 0,8 \Omega - 0,6 \Omega = \boxed{0,2 \Omega = r_2'}$$

$$z_k = \frac{10 \text{ V}}{10 \text{ A}} = 1,0 \Omega \rightarrow (x_1 + x_2') = \sqrt{1,0^2 - 0,8^2} \Omega = 0,6 \Omega$$

$$x_1 \cong x_2' = \frac{0,6 \Omega}{2} = \boxed{0,3 \Omega = x_1 = x_2'}$$

## ELEKTRİK MAKİNALARI – 2 BÜTÜNLEME SINAVI SORULARI

23.06.2008 Süre: 90 dakika

1. Armatür direnci  $R_a = 3\Omega$  ve seri sargı direnci  $R_s = 2\Omega$  olan bir seri motor, akı ile uyarım akımının doğru orantılı olduğu bölgede  $U=300V$  sabit kaynak gerilimi ile çalışıyor. Birinci çalışmada  $I_{y1} = 12A$  iken hız  $n_1 = 1200$  devir/dakikadır. İkinci çalışmada  $I_{y2} = 6A$  olduğuna göre yeni hız ( $n_2$ ) nedir? (15 puan)

2. Bir şönt motora sabit uç gerilimi ( $U$ ) altında yol verme reostası kullanılarak yol verilecektir. Yol verme devresini çiziniz. Yol verme reostası en uygun yere konmalıdır. (10 puan)

3. Üç fazlı, 50 Hz'lik, statoru üçgen bağlı, 4 kutuplu, statoru 36 oluklu, her oluğunda tam uzanımlı 2 katlı sargı bulunan, her sargısı  $N=5$  sarımlı bir AC makinanın stator sargıları üzerindeki manyetik akı genlikleri harmoniklere göre şöyledir: Temel bileşen:  $\hat{\Phi}_1 = 1,8$  Weber, 3. harmonik:  $\hat{\Phi}_3 = 0,4$  Weber, 5. harmonik:  $\hat{\Phi}_5 = 0,1$  Weber. Buna göre statorunda endüklenen tek faz geriliminin ve fazlararası gerilimin etkin değerlerini bulunuz. (25 puan)

4. Üç fazlı, statoru yıldız bağlı 10 kutuplu bir asenkron motorun statoruna 50 Hz'lik bilinmeyen bir gerilim uygulanırken, tork-kayma ilişkisinin kararlı bölgesi yaklaşık  $T_m = k \cdot s$  olarak doğrusallaştırılabilmektedir. Burada  $k = 100Nm$ ,  $s$  ise kaymadır. Motor, hızdan bağımsız olarak  $T_y \approx 9Nm$  torkunda bir yükü döndürmektedir. Sürtünme ihmal edilmektedir. Tek faza indirgenmiş ve statora yansıtılmış eşdeğer devre parametreleri:  $r_1 = r_2' = 1\Omega$ ,  $x_1 = x_2' = 2\Omega$ ,  $g_c = 1mS$ ,  $b_m = 2mS$  olduğuna göre,

a) Döndürme hızını devir/dakika cinsinden bulunuz.

b) Motorun giriş ve çıkış güçlerini ile verimini bulunuz.

(30 puan)

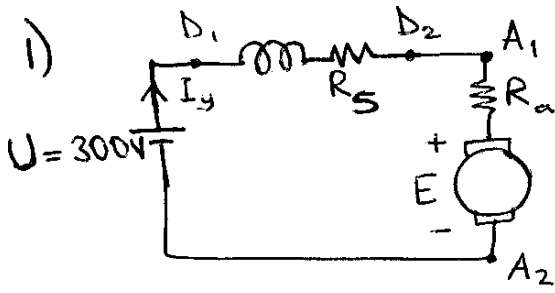
5. Üç fazlı, statoru yıldız bağlı bir asenkron makinaya yüksüz çalışma testi uygulandığında  $V_{h0} = 1200V$ ,  $I_{h0} = 3,8A$ ,  $P_0 = 3600W$  ve kilitli rotor testi uygulandığında  $V_{hk} = 66V$ ,  $I_{hk} = 57A$ ,  $P_k = 3900W$  ölçülüyor. Stator sargı uçlarının birisi boştayken diğer ikisi arasındaki direnç ise  $0,4\Omega$ 'dur. Tek faza indirgenmiş ve statora yansıtılmış eşdeğer devre parametrelerini yaklaşık olarak bulunuz. (20 puan)

BAŞARILAR...

Yar. Doç. Dr. Ata SEVİNÇ

# ELEKTRİK MAKİNALARI-2 BÜTÜNLEME CEVAP ANAHTARI:

23 Haziran 2008



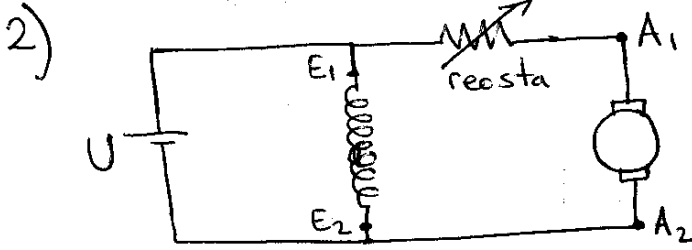
$$E_1 = 300V - (3\Omega + 2\Omega) \cdot 12A = 240V$$

$$E_2 = 300V - (5\Omega) \cdot 6A = 270V$$

$\Phi \propto I_a = I_y$  olduğundan,

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{K I_{y2} n_2}{K I_{y1} n_1} = \frac{6 \cdot n_2}{12 \cdot 1200 \text{ dev/dk}} = \frac{270}{240}$$

$$n_2 = 2700 \text{ devir/dakika}$$



Reosta armatüre seri bağlanır. Kaynağa seri bağlamak uygun sayılmaz; çünkü bu, motora düşen

uc gerilim kaynağı bağlamakla aynı anlama gelirdi. Dahası, reosta en etkili şekilde kullanılmamış olurdu (akıyı da azaltacağı için)

3)  $E_{rms} / \text{sargı} = \sqrt{2} \pi N \hat{\Phi}_n f_n$  (Tam uzanımı olduğu için  $k_{un} = 1$ )

$$E_{1rms} / \text{sargı} = 4,44 \cdot 5 \cdot 1,8 \cdot 50 \text{ V} = 1998 \text{ V}$$

$$E_{3rms} / \text{sargı} = 4,44 \cdot 5 \cdot 0,4 \cdot 50 \cdot 3 \text{ V} = 1332 \text{ V}$$

$$E_{5rms} / \text{sargı} = 4,44 \cdot 5 \cdot 0,1 \cdot 50 \cdot 5 \text{ V} = 555 \text{ V}$$

$$E_{rms} / \text{faz} = N_{faz} \cdot (E_{rms} / \text{sargı}) \cdot k_{d1}$$

$$\gamma = \frac{p}{2} \cdot \frac{360^\circ}{36} = \frac{4}{2} \cdot 10^\circ = 20^\circ = \gamma$$

$$q = \frac{36}{3 \cdot 4} = 3$$

$$N_{faz} = \frac{36}{3} \cdot \frac{1}{2} \cdot 2 \text{ kat} = 12$$

$$k_{d1} = \left| \frac{\sin\left(\frac{3 \cdot 1 \cdot 20^\circ}{2}\right)}{3 \sin\left(\frac{1 \cdot 20^\circ}{2}\right)} \right| = 0,9598$$

$$k_{d3} = \left| \frac{\sin 90^\circ}{3 \sin 30^\circ} \right| = 0,6667$$

$$k_{d5} = \left| \frac{\sin 150^\circ}{3 \sin 50^\circ} \right| = 0,2176$$

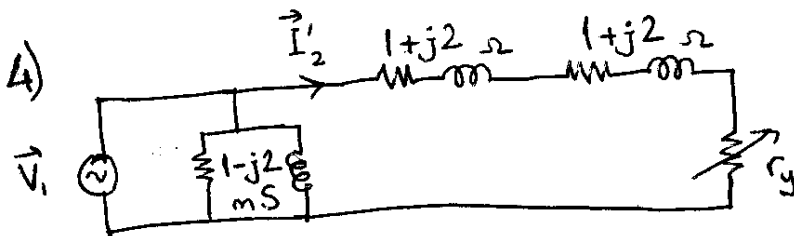
$$E_{1rms} / \text{faz} = 12 \cdot 1998 \cdot k_{d1} = 23012 \text{ V}$$

$$E_{3rms} / \text{faz} = 12 \cdot 1332 \cdot k_{d3} = 10656 \text{ V}$$

$$E_{5rms} / \text{faz} = 12 \cdot 555 \cdot k_{d5} = 1449 \text{ V}$$

$\Delta$  bağlantıda tek faz ve fazlararası gerilim aynıdır:  $E_{rms} = \sqrt{23012^2 + 10656^2 + 1449^2}$

$$E_{rms} = 25400 \text{ V}$$



$$T_y = T_m$$

$$100 \text{ Nm} \cdot k_s \approx 9 \text{ Nm}$$

$$s = 0,09$$

$$r_y = \frac{r'_y}{s} (1-s) = \frac{1 \Omega}{0,09} \times 0,91 = 10,11 \Omega$$

$$n_s = \frac{120 \times 50}{10} = 600 \text{ dev/dk}$$

$$n_r = (1-s)n_s = 0,91 \times 600 \text{ dev/dk} = \boxed{546 \text{ dev/dk}} \quad \omega_r = 2\pi \frac{n_r}{60} = 57,177 \text{ rad/s}$$

$$P_m = 9 \text{ Nm} \times 57,177 \text{ rad/s} = 514,59 \text{ W} = 3 \times 10,11 \Omega \times I_2'^2$$

$$I_2'^2 = 16,965 \text{ A}^2 \rightarrow I_2' = 4,12 \text{ A}$$

$$P_m = \boxed{P_{\text{giriş}} = 514,59 \text{ W}}$$

$$V_1^2 = ((1+1+10,11)^2 + (2+2)^2) \times I_2'^2 = 2760 \text{ V}^2 \rightarrow V_1 = 52,6 \text{ V}$$

$$P_{\text{cu}} = 3 \times (1+1) \times 16,965 \text{ W} = 515 \text{ W}$$

$$P_{\text{Fe}} = 3 \times 1 \times 10^{-3} \times 2760 \text{ W} = 8 \text{ W}$$

$$P_{\text{giriş}} = P_m \approx 515 \text{ W}$$

$$P_{\text{cu}} = 3 \times (1+1) \times 16,965 \text{ W} = 101,79 \text{ W}$$

$$P_{\text{Fe}} = 3 \times 1 \times 10^{-3} \times 2760 \text{ W} = 8,28 \text{ W}$$

$$P_{\text{giriş}} = 514,59 + 101,79 + 8,28 \text{ W} = \boxed{624,66 \text{ W} = P_{\text{giriş}}}$$

$$\text{Verim} = \eta = \frac{514,59}{624,66} = \boxed{\%82,4 = \eta}$$

5)  $V_{10} = 1200 \text{ V} / \sqrt{3} = 692,8 \text{ V}$ ,  $I_{10} = 3,8 \text{ A}$ ,  $P_{10} = 3600 \text{ W} / 3 = 1200 \text{ W}$

$V_{1k} = 66 \text{ V} / \sqrt{3} = 38,1 \text{ V}$ ,  $I_{1k} = 57 \text{ A}$ ,  $P_{1k} = 3900 \text{ W} / 3 = 1300 \text{ W}$

$$r_1 = r_{0k} / 2 = 0,4 \Omega / 2 = \boxed{0,2 \Omega = r_1} \quad r_1 + r_2' = \frac{1300}{57^2} \Omega = 0,4 \Omega$$

$$r_2' = (r_1 + r_2') - r_1 = 0,4 \Omega - 0,2 \Omega = \boxed{0,2 \Omega = r_2'}$$

$$Z_k = \frac{38,1 \text{ V}}{57 \text{ A}} = 0,669 \Omega$$

$$(x_1 + x_2') = \sqrt{0,669^2 - 0,4^2} \Omega = 0,536 \Omega$$

$$x_1 \approx x_2' = \frac{0,536 \Omega}{2} = \boxed{0,27 \Omega = x_1 = x_2'}$$

$$s_c = 1300 / 692,8^2 \text{ S} = \boxed{2,7 \text{ mS} = s_c}$$

$$\gamma_0 = \frac{3,8 \text{ A}}{692,8 \text{ V}} = 5,48 \text{ mS}$$

$$b_m = \sqrt{5,48^2 - 2,7^2} \text{ mS} = \boxed{4,77 \text{ mS} = b_m}$$

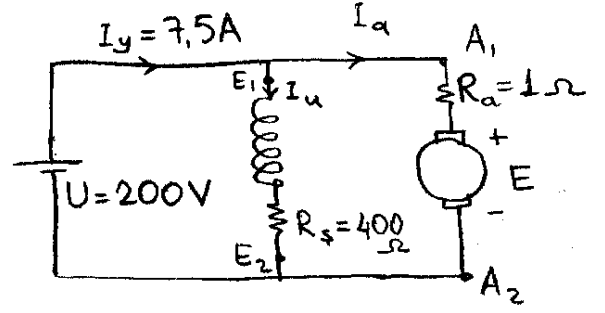


## ELEKTRİK MAKİNALARI – 2 ARASINAV SORULARI

17 Nisan 2009 Süre: 60 dakika

- 1) Yandaki şekilde verilen şönt motor,  $n = 1700$  dev/dk hızla dönmekte ve  $P_{\text{sur}} = 200\text{W}$  sürtünme kaybı olmaktadır. Bu çalışma için motorun verim ve torkunu hesaplayınız.

(35 puan)

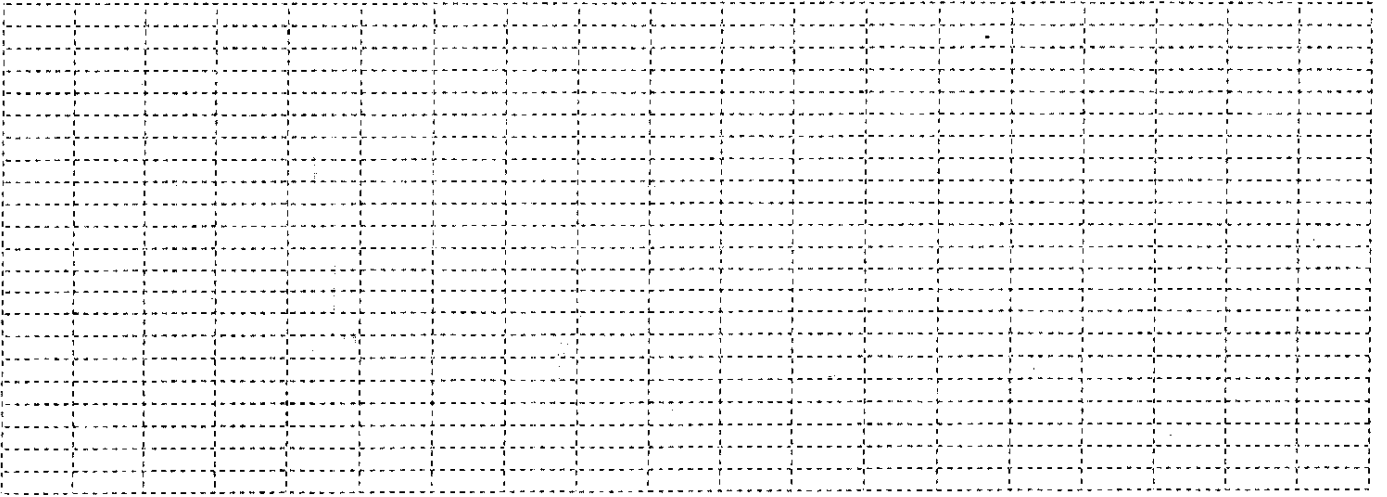


- 2) Bir asenkron motorun etiketinde frekans 50 Hz, hız ise 1350 dev/dk olarak yazılmıştır. Bu motor kaç kutupludur (kaymanın küçük bir değer olduğu düşünülüyor)? Motor etiket değerlerinde çalışırken kayması ne olur? Bu motor 60 Hz'de çalıştırılırsa senkron hızı ne olur? (3x5 = 15 puan)

3) Üç fazlı 50Hz'lik, silindirik rotorlu ve hava aralığı düzgün, manyetik çekirdeklerinde  $\mu_r \approx \infty$  olan, stator sargıları yıldız bağlı ve oluklara çift katlı yerleştirilmiş bir AC makine statorunun sargılarının birer kenarlarının oluklara yerleştirilişi şekilde gösterilmiştir. Her sargı 6 döngülüdür.

- a) Sargı uzanımı 10 oluk olacak şekilde gösterilmemiş sargı kenarlarının oluklara yerleşimini gösteriniz.  
 b) Stator sargılarına  $i_A = I \cos(\omega t)$ ,  $i_B = I \cos(\omega t - 120^\circ)$ ,  $i_C = I \cos(\omega t - 240^\circ)$  biçiminde dengeli 3 fazlı akımlar uygulanırsa  $\omega t = 60^\circ$  olan an için statorun ürettiği mmk dağılımını çiziniz.  
 c) Her bir iletkende endüklenen gerilimin 1., 3. ve 5. harmonikleri sırasıyla  $E_{1\text{rms}}/\text{ilt} = 3,6\text{V}$ ,  $E_{3\text{rms}}/\text{ilt} = 1,3\text{V}$  ve  $E_{5\text{rms}}/\text{ilt} = 0,6\text{V}$  olduğuna göre bütün harmonikler birlikte düşünüldüğünde bir faz geriliminin etkin değerini ve fazlararası gerilimin etkin değerini hesaplayınız.

Formüller: n. Harmonik için uzanım katsayısı  $k_{un} = \left| \sin\left(\frac{n\rho}{2}\right) \right|$ , dağılım katsayısı  $k_{dn} = \frac{\left| \sin(qn\gamma/2) \right|}{q \sin(n\gamma/2)}$



A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	-C <sub>1</sub>	-C <sub>2</sub>	-C <sub>3</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	-A <sub>4</sub>	-A <sub>5</sub>	-A <sub>6</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	-B <sub>4</sub>	-B <sub>5</sub>	-B <sub>6</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

BAŞARILAR...

Y.Doç.Dr. Ata SEVİNÇ

# ELEKTRİK MAKİNALARI-2 ARASINAV CEVAP ANAHTARI

17 Nisan 2009

$$1) I_u = \frac{200V}{400\Omega} = 0,5 A$$

$$I_a = 7,5A - 0,5A = 7A$$

$$E = 200V - 1\Omega \times 7A = 193V$$

$$P_m = EI_a = 193 \times 7 W = 1351 W$$

$$P_{çıkış} = P_m - P_{sür} = 1351W - 200W = 1151W$$

$$P_{giriş} = UI_g = 200V \times 7,5A = 1500W$$

$$\left. \begin{array}{l} P_{çıkış} = P_m - P_{sür} = 1351W - 200W = 1151W \\ P_{giriş} = UI_g = 200V \times 7,5A = 1500W \end{array} \right\} \text{Verim} = \frac{1151}{1500} = \boxed{\%76,7 = \eta}$$

$$\omega = 2\pi \times \frac{1700}{60} \text{ rad/s} = 178,0 \text{ rad/s}$$

$$T_{çıkış} = \frac{P_{çıkış}}{\omega} = \frac{1151}{178,0} \text{ Nm} = \boxed{6,47 \text{ Nm} = T_{çıkış}}$$

$$2) \text{ Kutup sayısı için 1. yol: } n_r = 1350 \text{ dev/dk} < n_s = \frac{120 \times 50}{p} \text{ dev/dk}$$

P çift sayı olmalıdır.

2 kutup da 4,4'ten küçüktür

ama biz yakın olan küçüğü

alırız; çünkü bu, kaymayı daha küçük yapar (o hız için).

$$P < \frac{120 \times 50}{1350} = 4,4 \rightarrow \boxed{P = 4}$$

$$\text{2. yol: } P = 2 \Rightarrow n_s = \frac{120 \times 50}{P} = 3000 \text{ dev/dk}$$

$$P = 4 \Rightarrow$$

$$P = 6 \Rightarrow$$

$$= 1500 \text{ dev/dk}$$

$$= 1000 \text{ dev/dk}$$

$$\rightarrow n_r = 1350 \text{ dev/dk}$$

bu aralıktadır.

$n_s > n_r$  olduğundan  $n_s = 1500 \text{ dev/dk}$   
ve  $P = 4$ 'tür.

$$n_s = \frac{120 \times 50}{4} \text{ dev/dk} = 1500 \text{ dev/dk}$$

$$\text{Kayma} = \frac{1500 - 1350}{1500} = \boxed{0,1 = \%10 = s}$$

$$f' = 60 \text{ Hz} \Rightarrow \text{Yeni senkron hız: } n'_s = \frac{120 \times 60}{4} \text{ dev/dk} = \boxed{1800 \text{ dev/dk} = n'_s}$$

3) (a) ve (b) şıklarının çözümleri sonraki sayfanın sonunda verilmiştir.

$$c) (E_{nrms} / \text{sargı}) = (E_{nrms} / \text{ilt}) \times 2N \times k_{un}$$

$\hookrightarrow N = 6$

$$k_{un} = \left| \sin \frac{nP}{2} \right|$$

Sargı uzanımı = 10 oluk.

Kutup sayısı = 2 = P  
olduğu görülüyor.

$$\text{Oluk açısı: } \gamma = \frac{360^\circ}{18 \text{ oluk}} \cdot \frac{P}{2} = 20^\circ \text{ (elk)}$$

(Çünkü bir katta birer faz-kutup bölgesi var.)

$$P = 10 \times 20^\circ = 200^\circ$$

$$k_{u1} = \left| \sin \frac{1 \times 200^\circ}{2} \right| = 0,9848$$

$$k_{u3} = \left| \sin \frac{3 \times 200^\circ}{2} \right| = 0,8660$$

$$k_{u5} = \left| \sin \frac{5 \times 200^\circ}{2} \right| = 0,6428$$

$$(E_{1rms} / \text{sargı}) = 3,6V \times 2 \times 6 \times 0,9848 = 42,54V$$

$$(E_{3rms} / \text{sargı}) = 1,3V \times 2 \times 6 \times 0,8660 = 13,51V$$

$$(E_{5rms} / \text{sargı}) = 0,6V \times 2 \times 6 \times 0,6428 = 4,63V$$

3.c) (Devamı)

$$\text{Her fazdaki sargı sayısı} : N_{\text{faz}} = \frac{18 \text{ oluk}}{3 \text{ faz}} \times \frac{1}{2 \text{ kenar}} \times 2 \text{ kat} = 6 = N_{\text{faz}}$$

$$(E_{\text{rms}} / \text{faz}) = N_{\text{faz}} \times (E_{\text{rms}} / \text{sargı}) \times k_{d1}$$

$$(E_{1\text{rms}} / \text{faz}) = 6 \times 42,54 \text{V} \times 0,9598 = 245,0 \text{V}$$

$$(E_{3\text{rms}} / \text{faz}) = 6 \times 13,51 \text{V} \times 0,6667 = 54,0 \text{V}$$

$$(E_{5\text{rms}} / \text{faz}) = 6 \times 4,63 \text{V} \times 0,2176 = 6,0 \text{V}$$

Tüm harmonikler birlikte düşünülürse:

$$E_{\text{rms}} / \text{faz} = \sqrt{\sum_n (E_{\text{rms}} / \text{faz})^2}$$

$$= \sqrt{245,0^2 + 54,0^2 + 6,0^2} \text{ V} = 251,0 \text{V} = E_{\text{rms}} / \text{faz}$$

Y bağlantıda tüm harmonikler birlikte fazlararası gerilim:

$$E_{\text{rms, fazlararası}}^Y = \sqrt{3} \cdot \sqrt{\sum_{(n \neq 3k)} (E_{\text{rms}} / \text{faz})^2} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{245,0^2 + 6,0^2} \text{ V}$$

$$= 424,5 \text{V} : \text{fazlararası etkin gerilim}$$

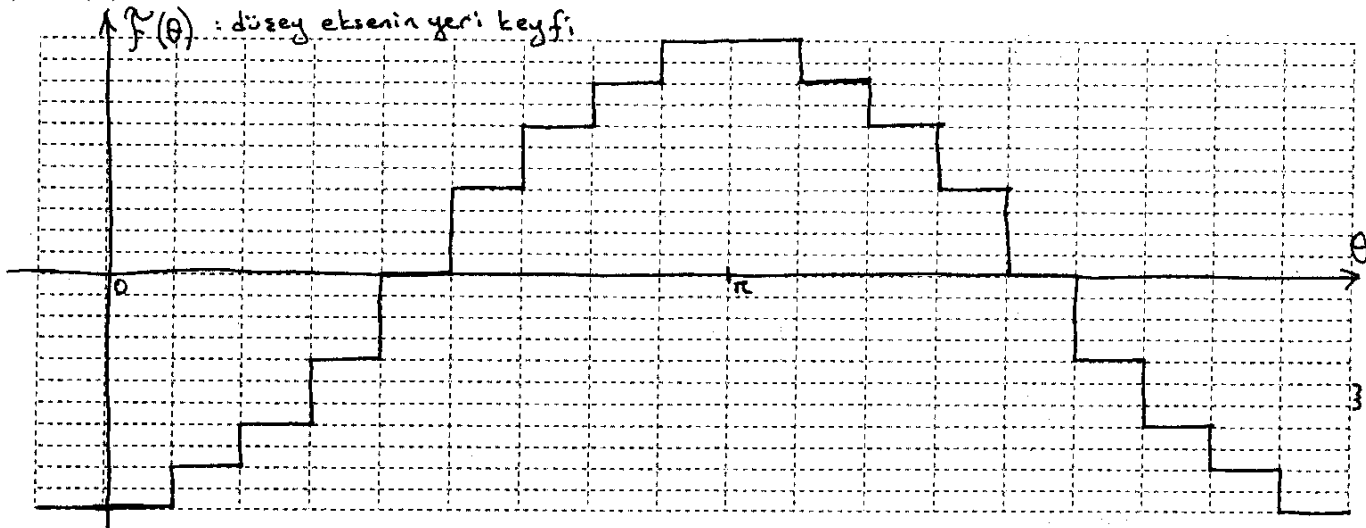
 $q = 3$  ( $A_1, A_2, A_3$  gibi aynı katta yan yana 3 olukta)

$$k_{d1} = \left| \frac{\sin\left(\frac{3 \times 1 \times 20^\circ}{2}\right)}{3 \sin\left(\frac{1 \times 20^\circ}{2}\right)} \right| = 0,9598$$

$$k_{d3} = \left| \frac{\sin 90^\circ}{3 \sin 30^\circ} \right| = 0,6667$$

$$k_{d5} = \left| \frac{\sin 150^\circ}{3 \sin 50^\circ} \right| = 0,2176$$

3.a) ve (b)



3.a) →

$A_1$	$A_2$	$A_3$	$-C_1$	$-C_2$	$-C_3$	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$-A_4$	$-A_5$	$-A_6$	$C_4$	$C_5$	$C_6$	$-B_4$	$-B_5$	$-B_6$
$-B_3$	$A_4$	$A_5$	$A_6$	$-C_4$	$-C_5$	$-C_6$	$B_4$	$B_5$	$B_6$	$-A_1$	$-A_2$	$-A_3$	$+C_1$	$+C_2$	$+C_3$	$-B_1$	$-B_2$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
0	1	1	$\frac{3}{2}$	2	2	$\frac{3}{2}$	1	1	0	-1	-1	$-\frac{3}{2}$	-2	-2	$-\frac{3}{2}$	-1	-1

BAŞARILAR...

Y.Doç.Dr. Ata SEVİNÇ

$$A_1 : 1. \text{ olukta} \rightarrow -A_1 : (1+10) = 11. \text{ olukta}$$

$$3.b) \omega t = 60^\circ \Rightarrow i_A = \frac{I}{2}, \quad i_B = \frac{I}{2}, \quad i_C = -I \text{ olur.}$$

$$N = 6 \rightarrow NI = 6I \rightarrow$$

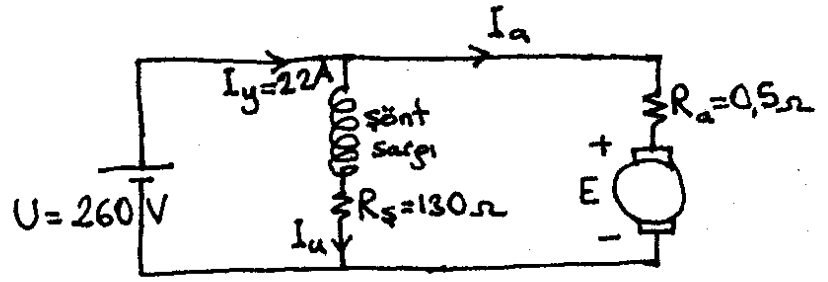
$$\begin{aligned} 0 \times NI &= 0 \cdot I = 0 \rightarrow 0 \text{ adım} \\ 1 \times NI &= 6I \rightarrow 2 \text{ adım} \\ (3/2) \times NI &= 9I \rightarrow 3 \text{ adım} \\ 2 \times NI &= 12I \rightarrow 4 \text{ adım} \end{aligned}$$

yükseklikte değişim. Yani her kare yüksekliği 3I kadardır.

ELEKTRİK MAKİNALARI – 2 FİNAL SINAVI SORULARI

09.06.2009 Süre: 60 dakika

- 1) Şekildeki şönt motorun hızı 2000 devir/dakika ve sürtünme güç kaybı 620W'tır. Motorun verimini ve net çıkış torkunu hesaplayınız. (25 puan)



- 2) Üç fazlı,  $\Delta/Y$  bağlı, 50Hz'lik bilezikli bir asenkron motora yüksüz çalışma ve kilitli rotor testleri uygulandığında, statoran hat değerleri olarak şu gerilim, akım ve güç değerleri ölçülüyor:

	Gerilim	Akım	Güç
Yüksüz çalışma	400V	3,2A	750W
Kilitli rotor	36V	26A	840W

Ayrıca stator sargılarının bir ucu boştayken diğer iki uç arasında okunan direnç 0,4 $\Omega$ 'dur. Bu asenkron motorun tek faza indirgenmiş ve statora yansıtılmış eşdeğer devre parametrelerini yaklaşık olarak hesaplayınız (17 puan). Stator/rotor fazlarının sarım oranı 4/1 olduğuna göre rotor tarafındaki faz başına sargı direncini ve kaçak endüktansı hesaplayınız (8 puan).

- 3) Tek faza indirgenmiş ve statora yansıtılmış eşdeğer devre parametreleri  $r_1 = r'_2 = 2\Omega$ ,  $x_1 = x'_2 = 4\Omega$ ,  $g_c = b_m = 4mS$  olan üç fazlı,  $\Delta/Y$  bağlı, 50Hz'lik bilezikli bir asenkron motorun stator/rotor fazlarının sarım oranı 4/1'dir. Bu motorun kalkış torkunu maksimum yapmak için rotor sargı uçlarına Y bağlı olarak ilave edilmesi gereken faz başına direnç ne olmalıdır? (20 puan) Yaklaşık eşdeğer devre ile hesaplayınız.

Yardımcı formül: 
$$s_{T \max} = \frac{r'_{2/op}}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + x'_2)^2}}$$

- 4) Üç fazlı, 1500 devir/dakikalık, yıldız bağlı, 720V'luk, 20kVA'lık bir senkron alternatöre açık devre ve kısa devre testleri yapılıyor. Aşağıdaki sonuçlar (hat değerleri) elde ediliyor. Armatür direnci ihmal ediliyor. Makinanın doymuş ve doymamış senkron reaktansı ile kısa devre oranını bulunuz (16 puan). Senkron makine 800V hat gerilimi altında 7A uyarım akımıyla motor olarak çalıştırılıyor. Senkron reaktansın doymuş değerinde olduğunu varsayarak bu şartlarda motorun verebileceği maksimum brüt torku bulunuz (14 puan).

Yardımcı formül: 
$$P = \frac{E_1 E_2}{X} \sin \delta \quad (\text{tek faz})$$

Açık Devre Testi	
Uyarım akımı (A)	Armatür hat gerilimi (V)
1	100
2	200
7	650
8	720
9	770

Kısa Devre Testi	
Uyarım akımı (A)	Armatür hat akımı (A)
1	2
2	4
7	14
8	16
9	18

BAŞARILAR ...

Yard. Doç. Dr. Ata SEVİNÇ

# ELEKTRİK MAKİNALARI-2 FINAL CEVAP ANAHTARI

09.06.2009

1)  $I_u = 260V/130\Omega \Rightarrow 2A$   $I_a = 22A - 2A = 20A$   
 $E = 260V - 20A \cdot 0,5\Omega = 250V$   $P_{çıkış} = 250V \cdot 20A = 620W = 4380W$   
 $P_{giriş} = 260V \cdot 22A = 5720W$  Verim =  $\frac{4380}{5720} = \%76,6 = \eta$   
 $\omega = 2\pi \cdot \frac{2000}{60} \text{ rad/s} = 209,4 \text{ rad/s}$   $T_{çıkış} = \frac{4380}{209,4} \text{ Nm} = 20,9 \text{ Nm} = T_{çıkış}$

2)  $P_{10} = 750W/3 = 250W$   $V_{10} = 400V$   $I_{10} = 3,2A/\sqrt{3} = 1,85A$  ( $\Delta$ )  
 $g_c = \frac{250}{400^2} S = 1,6 \text{ mS} = g_c$   $Y_{10} = 1,85A/400V = 4,6 \text{ mS}$   
 $b_m = \sqrt{4,6^2 - 1,6^2} \text{ mS} = 4,3 \text{ mS} = b_m$

$P_{1k} = 840W/3 = 280W$   $V_{1k} = 36V$   $I_{1k} = 26A/\sqrt{3} = 15,0A$  ( $\Delta$ )  
 $r_1 = \frac{3}{2} \cdot 0,4\Omega = 0,6\Omega = r_1$  ( $\Delta$ )  $r_1 + r_2' = \frac{280}{15,0^2} \Omega = 1,24\Omega$   
 $Z_{1k} = \frac{36V}{15,0A} = 2,40\Omega$   $x_1 + x_2' = \sqrt{2,40^2 - 1,24^2} \Omega = 2,05\Omega$

$r_2' = 1,24\Omega - 0,6\Omega = 0,64\Omega = r_2'$   $x_1 = x_2' = \frac{2,05\Omega}{2} = 1,02\Omega = x_1 = x_2'$

$r_2 = 0,64\Omega/4^2 = 0,04\Omega = r_2$   $x_2 = 1,02\Omega/4^2 = 0,064\Omega = x_2$

$0,064\Omega = 2\pi f L_r^{\text{kacak}} \rightarrow L_r^{\text{kacak}} = \frac{0,064\Omega}{2\pi \cdot 50 \text{ Hz}} = 203\mu\text{H} = L_r^{\text{kacak}}$

3) Yaklaşık  $R_1 \approx r_1$ ,  $X_1 \approx x_1$ . Kalkışta  $s=1 = s_{Tmax}$  yapılırsa:

$s_{Tmax} = \frac{r_2'_{Top}}{\sqrt{(2\Omega)^2 + (4\Omega + 4\Omega)^2}} = 1 \rightarrow r_2'_{Top} = \sqrt{68}\Omega = 8,25\Omega$

$r_2'_{Top} - r_2' = 8,25\Omega - 2\Omega = 6,25\Omega = r_2'_{ilave} \rightarrow r_2'_{ilave} = \frac{6,25\Omega}{4^2}$

$r_2'_{ilave} = 0,39\Omega$  Değerler ve sarım oranı tek faz için olduğundan statorun  $\Delta$  olması bilgisi kullanılmadı.

4)  $Z_s^{\text{doymuş}} = \frac{720V/\sqrt{3}}{16A} = 26\Omega \approx X_s^{\text{doymuş}}$

ADK'nın 2A'lık uyartım akımına kadar doğrusal

olduğu görüldüğü için:  $Z_s^{\text{doymamış}} = \frac{200V/\sqrt{3}}{4A} = 28,9\Omega \approx X_s^{\text{doymamış}}$

$I_h^{\text{anma}} = 20\text{kVA}/(\sqrt{3} \cdot 720V) = 16A \rightarrow 8A/8A = 1 = \text{k.d.o.}$

$I_f = 7A \Rightarrow E_f = 650V/\sqrt{3} = 375V$   $V_{t1} = 800V/\sqrt{3} = 462V$

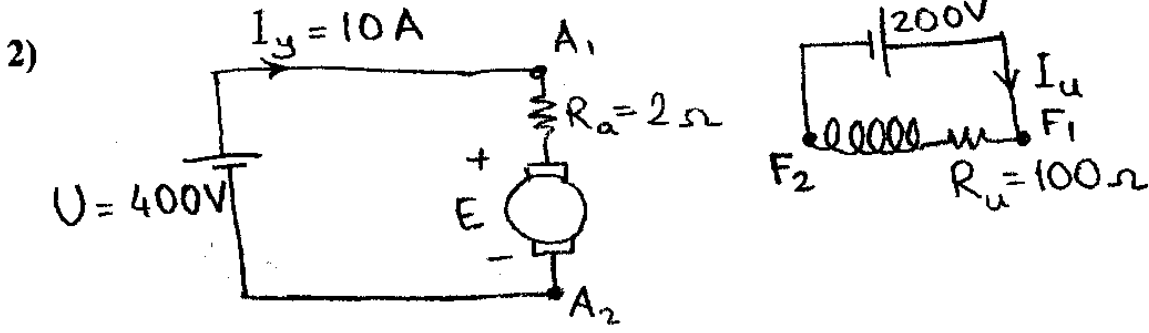
$\sin\delta = 1$  için  $P_1 = P_{max} = \frac{375V \cdot 462V}{26\Omega} = 6672W \rightarrow P_{Top} = 3P_{max} = 20,0\text{kW}$

$\omega = 2\pi \cdot \frac{1500}{60} \text{ rad/s} = 157,1 \text{ rad/s} \rightarrow \frac{20000}{157,1} \text{ Nm} = 127 \text{ Nm} = T_{max}$

# ELEKTRİK MAKİNALARI – 2 BÜTÜNLEME SINAVI SORULARI

23.06.2009 Süre: 80 dakika

1) Armatür reaksiyonu genel (ac/dc makinalarda ortak) olarak nedir? DC makinalardaki zararlı etkisi nedir? Bu etkiyi azaltmak için nasıl bir çözüm uygulanır? (3x5 = 15 puan)

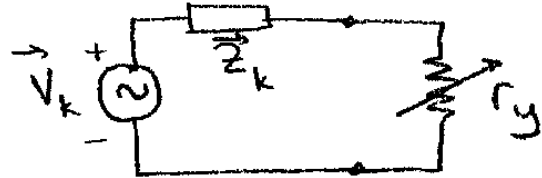


Yukarıdaki yabancı uyarımlı motor,  $a = 0,0012 \text{ Nm} \cdot \text{s}^2 / \text{rad}^2$  olmak üzere net tork-hız ilişkisi ( $T_y = a\omega^2$ ) olan bir yükü döndürürken sürtünme kaybı  $P_{\text{sür}} = 350 \text{ W}$  olmaktadır. Motorun devir/dakika olarak dönüş hızını, net çıkış torkunu ve verimini hesaplayınız. (25 puan)

3) Tek faza indirgenmiş ve statora yansıtılmış eşdeğer devre parametreleri  $r_1 = 0,7 \Omega$ ,  $r_2' = 0,6 \Omega$ ,  $x_1 = x_2' = 4,8 \Omega$ ,  $g_c = 4,2 \text{ mS}$ ,  $b_m = 6,4 \text{ mS}$  olan üç fazlı, 6 kutuplu statoru üçgen bağlı bir asenkron motorun statoruna 50Hz'de fazlararası 1000V gerilim uygulanıyor ve motor 950 devir/dakika hızla dönüyor. Sürtünme kaybı  $P_{\text{sür}} = 350 \text{ W}$  olduğuna göre motorun verimini, net çıkış torkunu, statordan ölçülen hat akımının büyüklüğünü ve giriş güç faktörünü hesaplayınız. (35 puan) Yaklaşık eşdeğer devre kullanabilirsiniz.

4) 3. sorudaki asenkron motorda hangi hız değerinde brüt çıkış gücü ( $P_m$ ) en büyük değerini alır? (10 puan) Yaklaşık eşdeğer devre kullanabilirsiniz.

Yardımcı formül: Yandaki gibi bir devrede  $V_k$  ve  $\bar{Z}_k$  belirli iken  $r_y$ 'ye maksimum güç aktarımı  $r_y = |\bar{Z}_k|$  durumunda gerçekleşir.



5) Üç fazlı, üçgen bağlı, 2400V'luk, 71,5kVA'lık bir senkron motora açık devre ve kısa devre testleri uygulandığında statordan ölçülen hat değerleri şöyledir:

Uyarım akımı (A)	ADK hat Gerilimi (V)	KDK hat Akımı (A)
3,0	400	1,9
6,0	800	3,8
21,0	2200	13,4
24,0	2400	15,3
27,0	2550	17,2

Armatür sargı direncini ihmal ederek bu motorun doymuş ve doymamış senkron reaktanslarını hesaplayınız. (15 puan)

BAŞARILAR ...

Yard. Doç. Dr. Ata SEVİNÇ

# ELEKTRİK MAKİNALARI-2 BÜTÜNLEME CEVAP ANAHTARI

23.06.2009

1) Armatür akımının oluşturduğu manyetik akının, hava aralığındaki bileşke manyetik akıya etkisine "armatür reaksiyonu" denir. Bu etki, DC makinelerde fırçaların kısa devre ettiği sargılardaki gerilimin o anda sıfırdan farklı olmasına, dolayısıyla da ark (kıvılcım) oluşmasına neden olur. Bunu azaltmak için kutuplar arasına "arakutup (aktarım = commutation) sargıları" yerleştirilir ve armatüre uygun yönde seri bağlanır.

2)  $E = 400V - 2\Omega \times 10A = 380V \rightarrow P_m = EI_a = 380V \times 10A = 3800W$   
 $P_{\text{çıkış}} = 3800W - 350W = 3450W \quad T_{\text{çıkış}} = \frac{3450W}{\omega} = T_y = a\omega^2$   
 $3450W = a\omega^3 \rightarrow \omega = \left(\frac{3450}{0,0012}\right)^{1/3} \text{ rad/s} = 142,2 \text{ rad/s} = \omega$

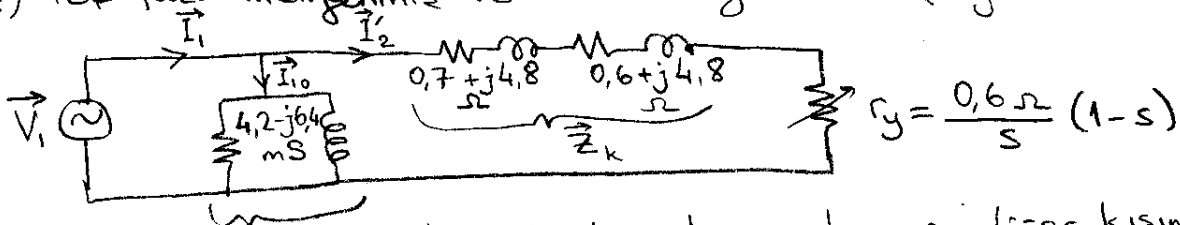
Net çıkış torku =  $a\omega^2 = 0,0012 \times (142,2)^2 \text{ Nm} = \boxed{24,3 \text{ Nm} = T_{\text{çıkış}}}$

$n = \frac{60}{2\pi} \omega = \frac{60}{2\pi} \times 142,2 \text{ devir/dak} = \boxed{1358 \text{ devir/dak} = n}$

$P_{\text{giriş}} = UI_y + R_u I_u^2 = 400V \times 10A + 100\Omega \times (2A)^2 = 4400W$   
 $\hookrightarrow 200V/100\Omega = I_u$

Verim =  $\frac{3450}{4400} = \boxed{\%78,4 = \eta}$

4) Tek faza indirgenmiş ve statora yansıtılmış yaklaşık eşdeğer devre:



Gerilim kaynağının paralel bağlı elemanların devrenin diğer kısımlarına etkisi yoktur.  $\vec{Z}_k = (1,3 + j9,6) \Omega$  olur.

$r_y = |\vec{Z}_k| = \sqrt{1,3^2 + 9,6^2} \Omega = 9,69 \Omega = \frac{0,6 \Omega}{s} (1-s)$

$9,69s/0,6 = 1-s \rightarrow 17,15s = 1 \rightarrow s = 0,05831$

4 kutuplu alınırsa  $\left\{ \begin{array}{l} n_s = \frac{120 \times 50}{4} = 1500 \text{ devir/dak} \rightarrow n_s - n_r = s n_s = 87,5 \text{ devir/dak} \\ n_r = (1500 - 87,5) \text{ devir/dak} = \boxed{1412,5 \text{ devir/dak} = n_r} \end{array} \right. \rightarrow \text{Maksimum güçteki hız (4 kutuplu için)}$

6 kutuplu alınırsa (soruda düzeltme yapılmıştı.):

$n_s = \frac{120 \times 50}{6} = 1000 \text{ devir/dak} \rightarrow n_s - n_r = s n_s = 58,3 \text{ devir/dak}$

$n_r = (1000 - 58,3) \text{ devir/dak} = \boxed{941,7 \text{ devir/dak} = n_r} \rightarrow \text{Maksimum güçteki hız (6 kutuplu için)}$

5) ADK'da 2400V için uyarım 24 A → KDK'da 15,3A =  $I_a^{\text{hat}} = \sqrt{3} I_{a1}$

$$Z_s^{\text{doymus}} = \frac{2400V}{15,3A/\sqrt{3}} = \boxed{272 \Omega \approx X_s^{\text{doymus}}}$$

İlk 2 değer takımı doğrusal (HAD) bölgede. Herhangi birinden:

$$Z_s^{\text{doymamis}} = \frac{800V}{3,8A/\sqrt{3}} = \boxed{365 \Omega \approx X_s^{\text{doymamis}}}$$

k.d.o. istenseydi:

$$\text{Anma hat akımı} = \frac{71500VA}{\sqrt{3} \times 2400V} = 17,2A \rightarrow \text{KDK'da } 27A \text{ uyarım da görülüyor.}$$

$$\text{k.d.o.} = \frac{24}{27} = 0,889$$

3) 6 kutuplu →  $n_s = \frac{120 \times 50}{6} \text{ dev/dk} = 1000 \text{ dev/dk} \rightarrow s = \frac{1000-950}{1000} = 0,05$

$$r_y = \frac{0,6 \Omega}{0,05} (1-0,05) = 11,4 \Omega$$

$$\vec{V}_1 = 1000V \angle 0^\circ \rightarrow \text{keyfi}$$

$$\vec{I}_2 = \frac{1000 \angle 0^\circ}{(0,7+0,6+11,4) + j(4,8+4,8)} A = \frac{1000}{15,92 \angle 37,09^\circ} A = \overset{I_2}{62,81A} \angle -37,09^\circ = (50,11 - j37,88) A$$

$$P_{cu} = 3 \times (0,7+0,6) \times 62,81^2 W = 15,39 \text{ kW}$$

$$P_{Fe} = 3 \times 4,2 \times 10^{-3} \times 1000^2 W = 12,60 \text{ kW}$$

$$P_m = 3 \times 11,4 \times 62,81^2 W = 134,94 \text{ kW} \rightarrow P_{aikis} = P_m - 350W = 134,59 \text{ kW}$$

$$P_{giris} = P_m + P_{cu} + P_{Fe} = 162,93 \text{ kW} \rightarrow \text{Verim} = \frac{134,59}{162,93} = \boxed{\%82,6 = \eta}$$

$$\omega = 2\pi \frac{950}{60} \text{ rad/s} = 99,48 \text{ rad/s}$$

$$\rightarrow T_{aikis} = \frac{134590}{99,48} \text{ Nm} = 1353 \text{ Nm}$$

$$\vec{I}_{10} = (1000V + j0V)(4,2mS - j6,4mS) = (4,2 - j6,4) A$$

$$\vec{I}_1 = \vec{I}_2 + \vec{I}_{10} = 50,11 - j37,88 + 4,2 - j6,4 A$$

$$= 54,31 - j44,28 A = \overset{I_1}{70,07A} \angle -39,19^\circ = \vec{I}_1$$

$$I_h = \sqrt{3} I_1 = \sqrt{3} \times 70,07A = \boxed{121,4A = I_h} \rightarrow \text{stator hat akımının büyüklüğü}$$

$$\varphi_1 = \angle \vec{V}_1 - \angle \vec{I}_1 = 0^\circ - (-39,19^\circ) = 39,19^\circ$$

$$\text{Giris güc faktörü} = \cos \varphi_1 = \cos 39,19^\circ = \boxed{0,775 = \cos \varphi_1 \text{ geri}}$$



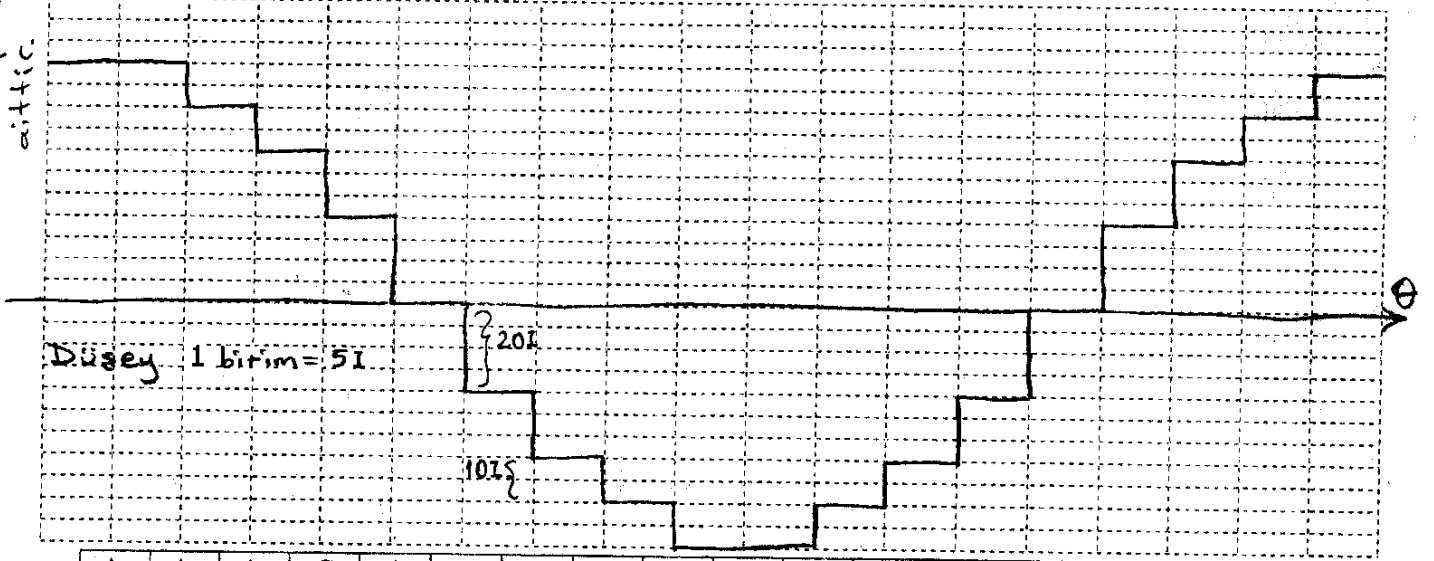
Öğrenci No:		1	2	3		TOPLAM
Adı Soyadı:						

## ELEKTRİK MAKİNALARI – 2 ARASINAV SORULARI

29 Nisan 2010 Süre: 75 dakika

Çizim cevap anahtarına aittir.

1)



A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	-C <sub>1</sub>	-C <sub>2</sub>	-C <sub>3</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	-A <sub>4</sub>	-A <sub>5</sub>	-A <sub>6</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	-B <sub>4</sub>	-B <sub>5</sub>	-B <sub>6</sub>
-B <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>	-C <sub>4</sub>	-C <sub>5</sub>	-C <sub>6</sub>	B <sub>4</sub>	B <sub>5</sub>	B <sub>6</sub>	-A <sub>1</sub>	-A <sub>2</sub>	-A <sub>3</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	-B <sub>1</sub>	-B <sub>2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

Üç fazlı, statoru 18 oluklu, stator ve rotorunda  $\mu_r \approx \infty$ , hava aralığı düzgün bir ac makinanın  $\Delta$  bağlı stator sargılarının oluklara çift katlı yerleştirilişi yukarıda verilmiştir. Stator sargılarına  $i_A = I \cos \omega t$ ,  $i_B = I \cos(\omega t - 120^\circ)$ ,  $i_C = I \cos(\omega t - 240^\circ)$  biçiminde dengeli üç fazlı akımlar uygulanıyor. Her sargıdaki sarım sayısı  $N=10$ 'dur.

a)  $\omega t = 240^\circ$  olan anda stator sargılarının ürettiği bileşke mmk dağılımını çiziniz. (15 puan)

b) Stator sargılarına uygulanan 50 Hz'lik değişken akı ile her bir iletkende endüklenen gerilimin temel bileşen, 3. ve 5. harmonikleri sırasıyla  $E_{1rms}/ilt = 10.0V$ ,  $E_{3rms}/ilt = 4.7V$ ,  $E_{5rms}/ilt = 3.2V$  olduğuna göre statorunda endüklenen fazlararası gerilimin etkin değerini hesaplayınız. (25 puan)

$$k_{un} = \left| \sin\left(\frac{n\rho}{2}\right) \right| \quad k_{dn} = \left| \frac{\sin(qn\gamma/2)}{q \sin(n\gamma/2)} \right|$$

2) Üç fazlı,  $\Delta / Y$  bağlı, 50 Hz'lik bir asenkron motora yüksüz çalışma testi ve kilitli rotor testi uygulanarak statorunda aşağıdaki hat değerleri ölçülmüştür:

$$\text{Yüksüz çalışma testi: } V_{h0} = 1000V, P_{h0} = 1200W, I_{h0} = 1.85A$$

$$\text{Kilitli rotor testi: } V_{hk} = 41.5V, P_{hk} = 1350W, I_{hk} = 19.7A$$

Ayrıca statorun 2 hat ucu arasından (diğer hat ucu boştayken) ölçülen direnç  $r_{olç} = 1.2\Omega$ 'dur. Buna göre makinanın tek faza indirgenmiş ve statora yansıtılmış eşdeğer devre parametrelerini yaklaşık olarak hesaplayınız. (20 puan)

3) Üç fazlı,  $\Delta / Y$  bağlı, 50 Hz'lik bir asenkron motorun tek faza indirgenmiş ve statora yansıtılmış eşdeğer devre parametreleri şöyledir:

$$r_1 = 2.3\Omega, r_2' = 3.0\Omega, x_1 = x_2' = 9.0\Omega, g_c = 2.2mS, b_m = 9.6mS$$

Yüklü bir çalışmada makinanın statoruna fazlararası 800V uygulanırken makina 675 devir/dakika hızla dönerken sürtünme kayıpları 1070W oluyor. Bu çalışmada kayma  $0 < s < \%30$  aralığındadır. Makinanın verimini, net çıkış torkunu, stator hat akımının büyüklüğünü ve giriş güç faktörünü yaklaşık eşdeğer devre kullanarak hesaplayınız. (40 puan)

BAŞARILAR ...

Yard. Doç. Dr. Ata SEVİNÇ

# ELEKTRİK MAKİNALARI-2 ARASINAV CEVAP ANAHTARI

29 Nisan 2010

$$1) a) \omega t = 240^\circ \Rightarrow i_A = -\frac{1}{2}, i_B = -\frac{1}{2}, i_C = 1$$

$N=10$  olduğundan A sargı kenarları  $-5I$ , B  $\rightarrow -5I$ , C  $\rightarrow 10I$  seviye değişimi yapar. Eksileri de bunların eksileri kadar. Böylece şekildedeki sızım elde edilir.

b) Bir turda mmk sızımı (veya sargıların oluklara yerleştirilişi) bir periyod içerdiği için bir çift kutup vardır.  $\rightarrow P=2$  kutuplu.

$$\text{Elektriksel oluk açısı} = \gamma = \frac{360^\circ}{18 \text{ oluk}} \times \frac{P}{2} = 20^\circ \text{ elk.}$$

$$\text{Sargı uzunluğu} = 11 - 1 = 10 \text{ oluk } (-A_1 \text{ ve } A_1 \text{ 'den})$$

$$\text{Yani } \rho = 10 \times 20^\circ = 200^\circ \text{ elk.}$$

$$\text{Faz - kutup başına oluk sayısı} = q = 18 \text{ oluk} / (3 \text{ faz} \times 2 \text{ kutup}) = 3 = q$$

(Zaten yanyana aynı katta aynı fazdan 3 tane var)

$$k_{u1} = \left| \sin \frac{1 \times 200^\circ}{2} \right| = 0,9848$$

$$k_{u3} = \left| \sin(3 \times 100^\circ) \right| = 0,8660$$

$$k_{u5} = \left| \sin(5 \times 100^\circ) \right| = 0,6428$$

$$k_{d1} = \left| \frac{\sin(3 \times 1 \times 20^\circ / 2)}{3 \sin(1 \times 20^\circ / 2)} \right| = 0,9598$$

$$k_{d3} = \left| \frac{\sin(3 \times 30^\circ)}{3 \sin(3 \times 10^\circ)} \right| = 0,6667$$

$$k_{d5} = \left| \frac{\sin(5 \times 30^\circ)}{3 \sin(5 \times 10^\circ)} \right| = 0,2176$$

$$E_{nrms} / \text{sargı} = 2Nk_{un} E_{nrms} / \text{ilt}$$

$$E_{1rms} / \text{sargı} = 2 \times 10 \times 0,9848 \times 10,0V = 197,0V$$

$$E_{3rms} / \text{sargı} = 20 \times 0,8660 \times 4,7V = 81,4V$$

$$E_{5rms} / \text{sargı} = 20 \times 0,6428 \times 3,2V = 41,1V$$

$$\text{Faz başına sargı sayısı} = N_{faz} = \frac{18 \text{ oluk}}{3 \text{ faz}} \times \frac{1}{2 \text{ oluk}} \times 2 \text{ kat} = 6$$

(Zaten her fazda 1'den 6'ya kadar numaralı sargı var.)

$$E_{nrms} / \text{faz} = N_{faz} \times (E_{nrms} / \text{sargı}) \times k_{dn}$$

$$E_{1rms} / \text{faz} = 6 \times 197,0 \times 0,9598V = 1134V$$

$$E_{3rms} / \text{faz} = 6 \times 81,4V \times 0,6667 = 326V$$

$$E_{5rms} / \text{faz} = 6 \times 41,1 \times 0,2176V = 54V$$

$$\text{Tüm harmonikler birlikte faz gerilimi} = E_{rms} / \text{faz} = \sqrt{1134^2 + 326^2 + 54^2} V = 1181V$$

$\Delta$  bağlı olduğu için fazlararası gerilim faz gerilimine eşit olup 1181V 'tur.

2) Tek faza indirgenmiş değerler (stator  $\Delta$ ):

$$V_{10} = 1000V$$

$$P_{10} = 1200W/3 = 400W$$

$$I_{10} = 1,85A/\sqrt{3} = 1,07A$$

$$V_{1k} = 41,5V$$

$$P_{1k} = 1350W/3 = 450W$$

$$I_{1k} = 19,7A/\sqrt{3} = 11,4A$$

$$r_1 = \frac{3}{2} \times 1,2\Omega = 1,8\Omega = r_1$$

$$r_1 + r_2' = \frac{450}{11,4^2} \Omega = 3,46\Omega$$

$$r_2' = 3,46\Omega - 1,8\Omega = 1,66\Omega = r_2'$$

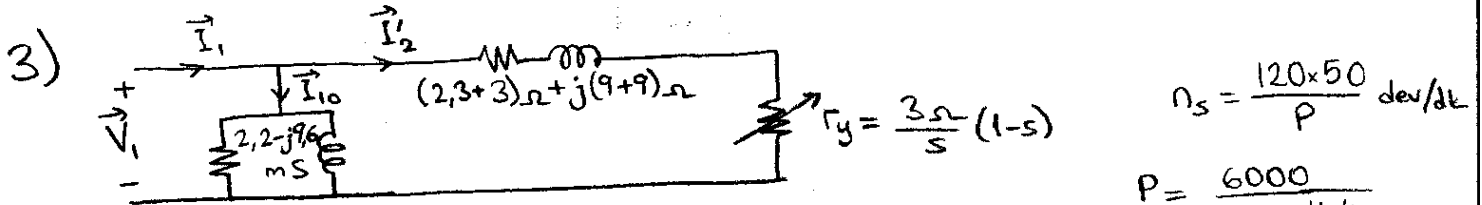
$$z_k = 41,5V/11,4A = 3,64\Omega$$

$$x_1 + x_2' = \sqrt{3,64^2 - 3,46^2} \Omega = 1,13\Omega$$

$$\frac{1,13\Omega}{2} = x_1 = x_2' = 0,57\Omega$$

$$g_c = \frac{400S}{1000^2} = 0,4mS = g_c \quad Y_0 = \frac{1,07A}{1000V} = 1,07mS$$

$$b_m = \sqrt{1,07^2 - 0,4^2} mS = 0,99mS = b_m$$



$$n_r \approx n_s \text{ düşünülürse } P \approx \frac{6000}{675} = 8,9 \rightarrow P \text{ çift sayı } \rightarrow \begin{matrix} \text{ya } 10 \\ \text{ya } 8 \end{matrix}$$

$$P=8 \text{ olsa } n_s = \frac{6000}{8} \text{ dev/dk} = 750 \text{ dev/dk} \rightarrow s = \frac{750-675}{750} = 0,1 \text{ olur.}$$

$$P=10 \text{ olsaydı } n_s = \frac{6000}{10} \text{ dev/dk} = 600 \text{ dev/dk}$$

$$\text{olurdu ki o zaman } s = \frac{600-675}{600} < 0 \text{ olurdu.}$$

$P=6$  ya da daha küçük olsa  $n_s=1000$ dev/dk ya da daha büyük olur,  $s > \%30$  olup şart sağlanmazdı.

$$\text{Demek ki } P=8 \text{ ve } s=0,1 \rightarrow r_y = \frac{3\Omega}{0,1} (1-0,1) = 27\Omega$$

$$\text{Stator } \Delta \rightarrow V_1 = 800V \rightarrow \vec{V}_1 = 800V \angle 0^\circ \text{ olsun.}$$

$$\vec{I}_2' = \frac{800 \angle 0^\circ}{(5,3+27)+j18} A = \frac{800}{36,98 \angle 29^\circ} A = 21,6A \angle -29^\circ = (18,9-j10,5) A$$

$$P_{Cu} = 3 \times 5,3 \times 21,6^2 W = 7442W$$

$$P_{Fe} = 3 \times 2,2 \times 10^{-3} \times 800^2 W = 4224W$$

$$P_m = 3 \times 27 \times 21,6^2 W = 37914W$$

$$P_{çıkış} = 37914W - 1070W = 36844W$$

$$P_{giriş} = 37914W + 7442W + 4224W = 49580W$$

$$\text{Verim} = \frac{36844}{49580} = \%74 = \eta$$

$$\omega_r = 2\pi \times 675/60 \text{ rad/s} = 70,7 \text{ rad/s}$$

$$\rightarrow T_{çıkış} = \frac{36844}{70,7} \text{ Nm} = 521 \text{ Nm} = T_{çıkış}$$

$$\vec{I}_{10} = (2,2-j9,6) \times 800 \angle 0^\circ \times 10^{-3} A = 1,76-j7,68 A$$

$$\vec{I}_1 = (18,9-j10,5) + (1,76-j7,68) A$$

$$\vec{I}_1 = (20,66-j18,18) A = 27,52A \angle -41^\circ$$

$$I_1 \rightarrow I_h = \sqrt{3} I_1 = 47,7A = I_h$$

$$\cos \varphi_1 = \cos(0^\circ - (-41^\circ)) = 0,755 \text{ geri} = \text{Giriş güç faktörü}$$

# ELEKTRİK MAKİNALARI – 2 FİNAL SINAVI SORULARI

16.06.2010 Süre: 60 dakika

1) Üç fazlı,  $\Delta/Y$  bağlı, 50Hz'lik 10 kutuplu bilezikli bir asenkron jeneratörün tek faza indirgenmiş ve statora yansıtılmış eşdeğer devre parametreleri

$$r_1 = 5\Omega, r'_2 = 3\Omega, x_1 = x'_2 = 4\Omega, g_c = b_m = 0,005S$$

olup statoruna fazlar arası 340V uygulanırken 690 devir/dakika hızla döndürülürken sürtünme kaybı 1450W olmaktadır. Yaklaşık eşdeğer devre kullanarak bu çalışma için jeneratörün verimini ve brüt giriş torkunu hesaplayınız. (30 puan)

2) Birinci sorudaki asenkron makinanın stator/rotor tek faz sarım oranı 4/1'dir. Bu makinaryı motor olarak kullanırken kalkış torkunu maksimum yapmak için rotor sargı uçlarına Y bağlı olarak ilave edilmesi gereken faz başına direnç ne olmalıdır? (20 puan) Yaklaşık eşdeğer devre ile hesaplayınız.

Yardımcı formül:  $s_{T_{\max}} = \frac{r'_{2Top}}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + x'_2)^2}}$

3) Üç fazlı, 50 Hz'lik, 1000 devir/dakikalık, yıldız bağlı, 1000V'luk, 34,7kVA'lık bir senkron alternatöre açık devre ve kısa devre testleri yapılıyor. Aşağıdaki sonuçlar (hat değerleri) elde ediliyor. Ayrıca statorun bir hat ucu boştayken diğer iki hat ucu arasından ölçülen sargı direnci  $10\Omega$ 'dur. Makinanın doymuş ve doymamış senkron empedans ve reaktansları ile kısa devre oranını bulunuz (25 puan).

Açık Devre Testi	
Uyartım akımı (A)	Armatür hat gerilimi (V)
1	180
2	360
5	780
6	900
7	1000

Kısa Devre Testi	
Uyartım akımı (A)	Armatür hat akımı (A)
1	4
2	8
5	20
6	24
7	28

4) Üç fazlı, 50 Hz'lik, 1000 devir/dakikalık, Y bağlı bir senkron motorun tek faz senkron reaktansı  $0,8\Omega$ 'dur. Bu motor, hat reaktansı her faz için  $0,2\Omega$  olan fazlararası 1200V'luk 50 Hz'lik yıldız bağlı bir kaynağa bağlanıyor. Uyartım akımı sabit tutularak maksimum torka kadar yüklendiğinde motorun uçlarındaki voltaj fazlararası 1160V oluyor. Maksimum brüt torku ve bu durumdaki armatür hat akımını bulunuz (25 puan).

Yardımcı formül:  $P = \frac{E_1 E_2}{X} \sin \delta$  (tek faz)

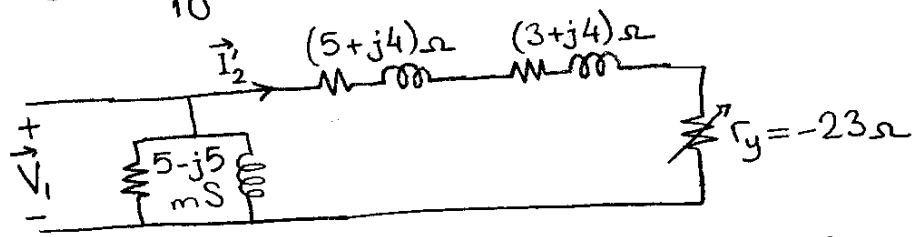
BAŞARILAR ...

Yard. Doç. Dr. Ata SEVİNÇ

ELEKTRİK MAKİNALARI-2 FINAL CEVAP ANAHTARI  
16.06.2010

1)  $n_s = \frac{120 \times 50}{10} \text{ dev/dk} = 600 \text{ dev/dk}$

$s = \frac{600 - 690}{600} = -0,15$



$r_y = \frac{3 \Omega}{-0,15} \times [1 - (-0,15)]$   
 $r_y = -23 \Omega$

$\Delta$  bağlı  $\rightarrow V_1 = 340 \text{ V}$

$I_2' = \frac{340}{\sqrt{(5+3-23)^2 + (4+4)^2}} \text{ A} = 20 \text{ A}$

$P_{cu} = 3 \times (5+3) \times 20^2 \text{ W} = 9600 \text{ W}$

$P_{Fe} = 3 \times 0,005 \times 340^2 \text{ W} = 1734 \text{ W}$

$P_m = -3 \times (-23) \times 20^2 \text{ W} = 27600 \text{ W}$  ( $P_m > 0$  olacak yöndeki tanım kullanıldı, jeneratör için.)

$P_{giris} = 27600 \text{ W} + 1450 \text{ W} = 29050 \text{ W}$  (Brüt giriş gücü)

$P_{cikis} = P_m - P_{cu} - P_{Fe} = (27600 - 9600 - 1734) \text{ W} = 16266 \text{ W}$  (Net çıkış)

Verim =  $\frac{16266}{29050} = \boxed{\%56 = \eta}$

$\omega_r = 2\pi \frac{690}{60} \text{ rad/s} = 72,26 \text{ rad/s}$

Brüt Giriş Torqu =  $\frac{29050}{72,26} \text{ Nm} = \boxed{T_{giris} = 402 \text{ Nm}}$

2) Yaklaşık eşdeğer devrede  $R_1 \approx r_1, X_1 \approx x_1$

Kalkışta  $s=1 = s_{Tmax} \rightarrow r_{2Top} = \sqrt{5^2 + (4+4)^2} \Omega = 9,43 \Omega$

$9,43 \Omega = 3 \Omega + r_{2ilave} \rightarrow r_{2ilave} = 6,43 \Omega \rightarrow r_{2ilave} = \frac{6,43 \Omega}{4}$

$r_{2ilave} = 0,40 \Omega$

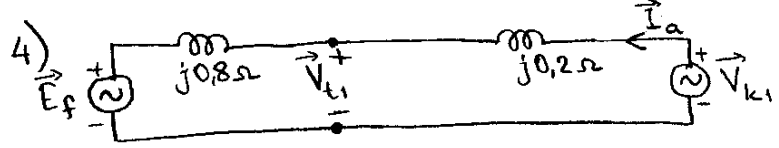
3)  $r_1 = 10 \Omega / 2 = 5 \Omega$

$I_{hanna} = 34700 \text{ VA} / (\sqrt{3} \times 1000 \text{ V}) = 20 \text{ A}$  : anma hat akımı

$Z_s(\text{doymuş}) = \frac{1000 \text{ V} / \sqrt{3}}{28 \text{ A}} = 20,62 \Omega \rightarrow X_s(\text{doymuş}) = \sqrt{20,62^2 - 5^2} \Omega = 20 \Omega$   
↳ reaktans

$Z_s(\text{doymamış}) = \frac{360 \text{ V} / \sqrt{3}}{8 \text{ A}} = \frac{180 \text{ V} / \sqrt{3}}{4 \text{ A}} = 25,98 \Omega \rightarrow X_s(\text{doymamış}) = \sqrt{25,98^2 - 5^2} \Omega = 25,5 \Omega$

Kısa devre oranı =  $7 \text{ A} / 5 \text{ A} = \boxed{1,4 = k.d.o}$



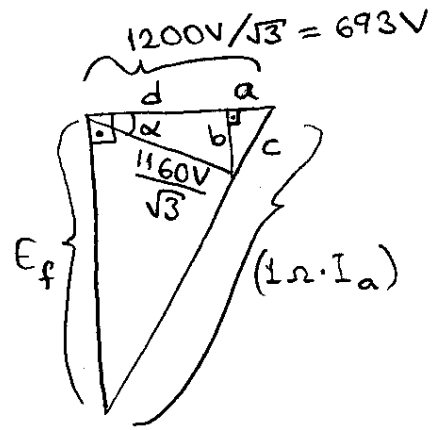
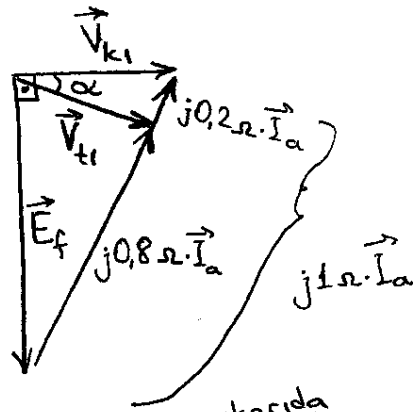
$V_{kt} = 1200 \text{ V} / \sqrt{3} = 693 \text{ V}$

$V_{t1} = 1160 \text{ V} / \sqrt{3} = 670 \text{ V}$   $\rightarrow$  büyüklükler

Maksimum tork durumunda  $\vec{E}_f$  ile  $\vec{V}_{k1}$  birbirine diktir ve  $\vec{V}_{k1}$  motor durumunda ilerdedir.

Dikkat:

$(j1\Omega \cdot \vec{I}_a)$  vektörü,  $\vec{I}_a$  ile aynı fazda değil,  $90^\circ$  ilerisindedir.  $\vec{V}_{t1}$  de bu vektöre dik olmak zorunda değildir.



$\sin \alpha$  veya  $E_f$ 'nin bulunması, yukarıdaki benzer üçgen problemidir:

$$\frac{c}{1\Omega \cdot I_a} = \frac{0,2\Omega \cdot I_a}{1\Omega \cdot I_a} = \frac{1}{5} = \frac{a}{693V} \rightarrow a = 138,6V$$

$$d = 693V - 138,6V = 554,3V$$

$$\cos \alpha = \frac{d}{1160V/\sqrt{3}} = \frac{d}{670V} = 0,8276 \rightarrow \sin \alpha = \sqrt{1 - 0,8276^2} = 0,5613$$

Bundan sonra tek faz gücü için

1. yol:  $\sin \delta$  yerine  $\sin \alpha$ ,  $E_1$  yerine  $V_{k1}$ , ve  $E_2$  yerine  $V_{t1}$  kullanılabilir; çünkü  $V_{k1}$ ,  $V_{t1}$  ve  $\vec{E}_f$  arasında güç harcayan başka eleman yok. X yerine de aradaki  $0,2\Omega$  kullanılır.

$$P_1 = \frac{693V \times 670V}{0,2\Omega} \times 0,5613 = 1,3MW$$

$$2. yol: \frac{b}{670V} = \sin \alpha = 0,5613 \rightarrow b = 376V$$

$$\frac{b}{E_f} = \frac{1}{5} \rightarrow E_f = 5 \times 376V = 1880V$$

$\sin \delta$  yerine  $1$  ( $\delta = 90^\circ$ ),  $E_1$  yerine  $V_{k1}$ , ve  $E_2$  yerine  $E_f$  kullanılır. X yerine de  $(0,8\Omega + 0,2\Omega) = 1\Omega$  alınır.

$$P_1 = \frac{693V \times 1880V}{1\Omega} \times 1 = 1,3MW \rightarrow \text{aynı sonuç bulunur.}$$

$$\text{Toplam güç} = 3P_1 = 3,9MW$$

$$\omega_r = \frac{2\pi \times 1000}{60} \text{ rad/s} = 104,7 \text{ rad/s}$$

$$\text{Brüt tork} = \frac{3,9 \times 10^6 \text{ W}}{104,7 \text{ rad/s}} = \underline{\underline{37308 \text{ Nm}}} \rightarrow \text{maksimum değer.}$$

$$\text{Bu çalışmada } (1\Omega \cdot I_a) = \sqrt{E_f^2 + V_{k1}^2} = \sqrt{1880^2 + 690^2} \text{ V} = 2003 \text{ V}$$

$$I_a = 2003V/1\Omega = \boxed{2003A = I_a} \rightarrow \text{hem hat, hem faz akımı (Y bağlantıdan dolayı)}$$

# ELEKTRİK MAKİNALARI – 2 BÜTÜNLEME SINAVI SORULARI

30.06.2010 Süre: 60 dakika

1) Üç fazlı, Y/Y bağlı, 50Hz'lik 6 kutuplu bir asenkron jeneratörün tek faza indirgenmiş ve statora yansıtılmış eşdeğer devre parametreleri

$$r_1 = 1\Omega, r'_2 = 2\Omega, x_1 = x'_2 = 10\Omega, g_c = 0,001S, b_m = 0,005S$$

olup statoruna fazlar arası 1000V uygulanarak 1100 devir/dakika hızla döndürülürken sürtünme kaybı 2000W olmaktadır. Yaklaşık eşdeğer devre kullanarak bu çalışma için jeneratörün verimini ve brüt giriş torkunu hesaplayınız. Stator hat akımının büyüklüğünü ve çıkış güç faktörünü hesaplayınız. (35 puan)

2) Üç fazlı, Y/Y bağlı bilezikli bir asenkron motorun stator/rotor tek faz sarım oranı 2/1, tek faza indirgenmiş ve statora yansıtılmış sargı dirençleri  $r_1 = 5\Omega, r'_2 = 9\Omega$  'dur. Bu makinanın kalkış torkunu **maksimum** yapmak için rotor sargı uçlarına Y bağlı olarak ilave edilmesi gereken faz başına direncin  $1\Omega$  olması gerektiğine göre  $x_1 = x'_2 = ?$  değerini bulunuz. Bu durumda (motorun kalkışta hız kazanmasının geciktiği düşünülerek) kalkış akımını bulunuz. (20 puan) Paralel kolu ihmal ederek yaklaşık eşdeğer devre ile hesaplayınız.

Yardımcı formül:  $S_{T \max} = \frac{r'_{2top}}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + x'_2)^2}}$

Fazlar arası 400V  
stator gerilimi için

3) Üç fazlı, 50 Hz'lik, 1500 devir/dakikalık, **üçgen** bağlı, 400V'luk, 3,6kVA'lık bir senkron alternatöre açık devre ve kısa devre testleri yapılıyor. Aşağıdaki sonuçlar (hat değerleri) elde ediliyor. Ayrıca statorun bir hat ucu boştayken diğer iki hat ucu arasından ölçülen sargı direnci  $10\Omega$ 'dur. Makinanın doymuş ve doymamış senkron empedans ve reaktansları ile kısa devre oranını bulunuz (20 puan).

Açık Devre Testi	
Uyartım akımı (A)	Armatür hat gerilimi (V)
0,5	72
1	144
2,5	312
3	360
3,5	400

Kısa Devre Testi	
Uyartım akımı (A)	Armatür hat akımı (A)
0,5	1,04
1	2,08
2,5	5,20
3	6,24
3,5	7,28

4) Üç fazlı, 50 Hz'lik, 1500 devir/dakikalık, Y bağlı bir senkron motorun tek faz senkron reaktansı  $5\Omega$ 'dur. Bu motor, hat reaktansı her faz için  $1\Omega$  olan fazlar arası 400V'luk 50 Hz'lik yıldız bağlı bir kaynağa bağlanıyor. Uyartım akımı,  $E_f = 270V$  (tek faza indirgenmiş) değerinde olacak şekilde sabit tutularak maksimum torka kadar yükleniyor. Bu durumdaki brüt torku ve armatür hat akımını bulunuz (25 puan).

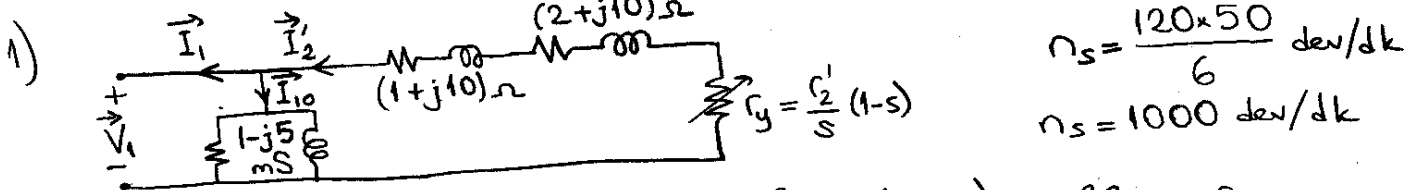
Yardımcı formül:  $P = \frac{E_1 E_2}{X} \sin \delta$  (tek faz)

BAŞARILAR ...

Yard. Doç. Dr. Ata SEVİNÇ

# ELEKTRİK MAKİNALARI-2 BÜTÜNLEME CEVAP ANAHTARI

30.6.2010



$$s = \frac{1000 - 1100}{1000} = -0,1 \rightarrow r_y = \frac{2\Omega}{-0,1} (1 + 0,1) = -22\Omega = r_y$$

$$V_1 = 1000V/\sqrt{3} = 577V \rightarrow \vec{V}_1 = 577V \angle 0^\circ \rightarrow \text{keyfi}$$

$$\vec{I}'_2 = \frac{-577 \angle 0^\circ}{(1+2-22) + j(10+10)} A = \frac{-577}{27,6 \angle 133,5^\circ} A = 20,93A \angle 46,5^\circ = \vec{I}'_2 = (14,4 + j15,2)A$$

$$P_{cu} = 3(1+2) \times 20,93^2 W = 3942 W$$

$$P_{Fe} = 3 \times 0,001 \times 577^2 W = 1000 W$$

$$P_m = -3 \times (-22) \times 20,93^2 W = 28909 W$$

$$P_{aikis} = 28909 W - 3942 W - 1000 W$$

$$P_{aikis} = 23967 W$$

$$P_{giris} = 28909 W + 2000 W = 30909 W \rightarrow \text{brüt giriş gücü}$$

$$\text{Verim} = \eta = \frac{23967}{30909} = \boxed{\% 77,5 = \eta}$$

$$\omega_r = 2\pi \times \frac{1100}{60} \text{ rad/s} = 115,2 \text{ rad/s}$$

$$\text{Brüt giriş torku} = T_{giris} = \frac{30909}{115,2} \text{ Nm} = \boxed{268,3 \text{ Nm} = T_{giris}}$$

$$\vec{I}_{10} = (0,001 - j0,005) \times 577 \angle 0^\circ = (0,577 - j2,887) A$$

$$\vec{I}_1 = \vec{I}'_2 - \vec{I}_{10} = (14,4 + j15,2 - 0,577 + j2,887) A = (13,84 + j18,06) A$$

$$\vec{I}_1 = 22,75 A \angle 52,5^\circ \rightarrow \text{iletilen hat akımı} = \boxed{I_h = 22,75 A}$$

$$\cos \varphi_1 = \cos(0^\circ - 52,5^\circ) = \boxed{\text{güç faktörü} = 0,608 \text{ ileri}}$$

(şekildeki  $\vec{I}_1$  yön tanımına göre akım ileride)

2) Kalkışta  $s=1 = S_{Tmax}$   $r'_{zilave} = 1\Omega \rightarrow r'_{zilave} = \left(\frac{2}{1}\right)^2 \times 1\Omega$

$$r'_{zilave} = 4\Omega \rightarrow r'_{2top} = 9\Omega + 4\Omega = 13\Omega$$

Yaklaşık eşdeğer devrede  $R_1 \approx r_1, X_1 \approx x_1$

$$\frac{13\Omega}{\sqrt{(5\Omega)^2 + (x_1 + x'_2)^2}} = 1 \rightarrow (13\Omega)^2 = (5\Omega)^2 + (x_1 + x'_2)^2$$

$$(x_1 + x'_2) = \sqrt{13^2 - 5^2} \Omega = 12\Omega$$

$$x_1 = x'_2 = \frac{12\Omega}{2} = \boxed{6\Omega = x_1 = x'_2}$$

$$V_h = 400V \rightarrow V_1 = 400V/\sqrt{3} = 231V$$

$$I_h = I_1 \approx I'_2 = \frac{231V}{\sqrt{(5\Omega + \underbrace{13\Omega}_{r'_{2top}})^2 + (12\Omega)^2}} = \frac{231V}{21,63\Omega} = \boxed{10,68 A = I_1 = I_h}$$

Hem hat, hem tek faz akımı (Y olduğundan)



$$3) r_1 = \frac{3}{2} 10 \Omega = 15 \Omega$$

$$Z_s (\text{doymamış}) = \frac{72V}{1,04A/\sqrt{3}} = \frac{144V}{2,08A/\sqrt{3}} = 119,9 \Omega$$

$$Z_s (\text{doymuş}) = \frac{400V}{7,28A/\sqrt{3}} = 95,2 \Omega$$

senkron empedans

$$X_s (\text{doymamış}) = \sqrt{119,9^2 - 15^2} \Omega = 119,0 \Omega$$

$$X_s (\text{doymuş}) = \sqrt{95,2^2 - 15^2} \Omega = 94,0 \Omega$$

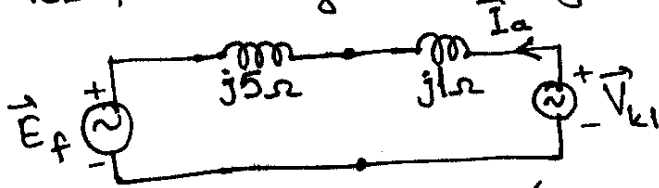
senkron reaktans

$$\text{Ama armatör hat akımı} = \frac{3,6 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \cdot 400V} = 5,20 \text{ A} \rightarrow \text{KDK'da } 2,5 \text{ A uyarım için görülür.}$$

ADK'da 400V ise 3,5A uyarımda görülür.

$$\text{Kısa devre oranı} = k_{do} = \frac{3,5}{2,5} = \boxed{1,4 = k_{do}}$$

4) Tek faza indirgenmiş eşdeğer devre



$$E_f = 270V \text{ sabit}$$

$$V_{k1} = \frac{400V}{\sqrt{3}} = 231V \text{ :sabit}$$

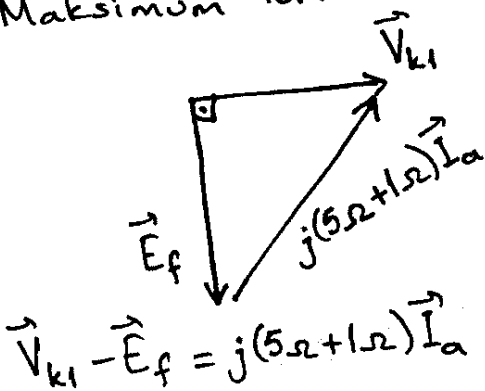
$$\text{Tek faz maksimum gücü } (\delta = 90^\circ \text{ için}) : P_1 = \frac{231V \cdot 270V}{(5+1)\Omega} = 10,4 \text{ kW}$$

$$\text{Üç faz için ise } P_T = 3 \times 10,4 \text{ kW} = 31,18 \text{ kW}$$

$$n_r = 1500 \text{ dev/dk} \rightarrow \omega_r = 2\pi \cdot 1500 / 60 \text{ rad/s} = 157,1 \text{ rad/s}$$

Maksimum brüt sıkış torku (elektromekanik tork):

$$T_m = \frac{31180}{157,1} \text{ Nm} = \boxed{198,5 \text{ Nm} = T_m}$$

Maksimum tork durumunda  $\vec{E}_f \perp \vec{V}_{k1}$ 

$$(5\Omega + 1\Omega)I_a = \sqrt{231^2 + 270^2} \text{ V}$$

$$6\Omega \cdot I_a = 355,3 \text{ V}$$

$$\boxed{I_a = 59,2 \text{ A}} \rightarrow \text{Hem tek faz hem hat akımı}$$