

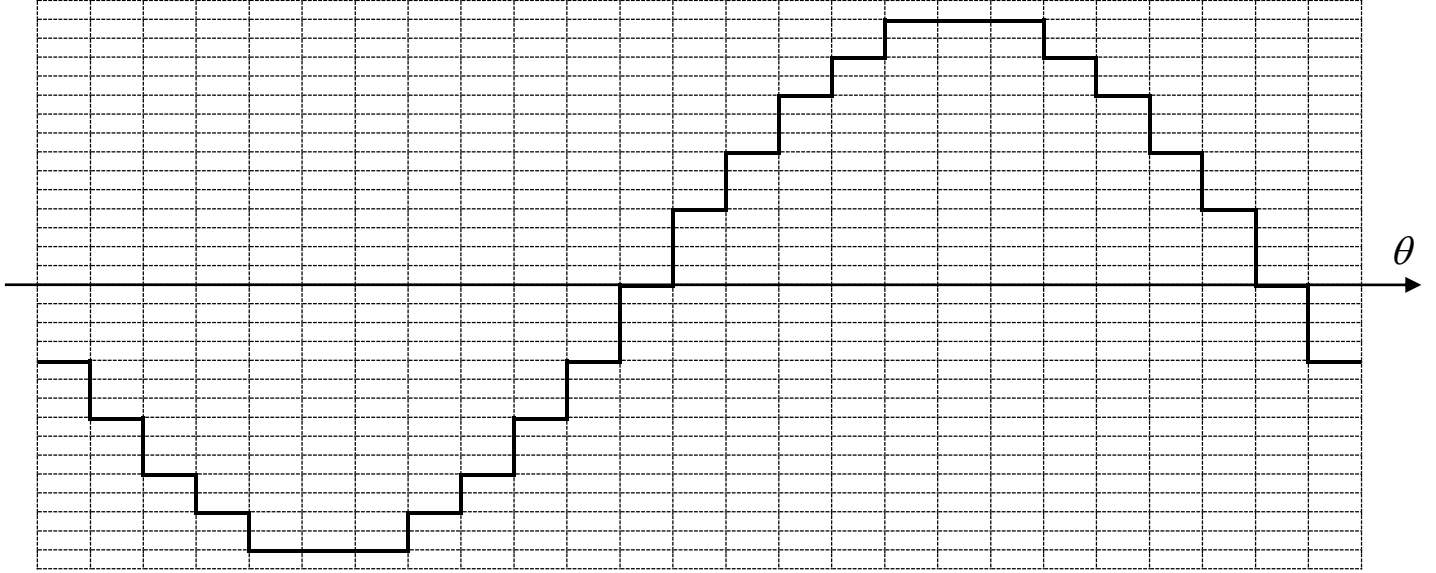
ELEKTRİK MAKİNALARI – 2 ARASINAV CEVAP ANAHTARI

28 Nisan 2011

1) a) $\omega t = 120^\circ$ anı için $i_B = \hat{I}$, $i_A = i_C = -\hat{I}/2$

N = 10 olduğundan her bir B sargısı $Ni_B = 10\hat{I}$, her bir A veya C sargısı da $Ni_A = Ni_C = -5\hat{I}$ kadar seviye değişimi yapar. (Eksi işaretli kenarları da bunların eksisi kadar.) Bunların iki kat sargı için toplamı (\hat{I} 'nın kaç katı olduğu) aşağıda oluk numaralarının altında gösterilmiştir.

Aşağıdaki şekilde 1 birimlik yükseklik için alınan değer: $\underline{5} \times \hat{I}$



A1	A2	A3	A4	-C1	-C2	-C3	-C4	B1	B2	B3	B4	-A5	-A6	-A7	-A8	C5	C6	C7	C8	-B5	-B6	-B7	-B8
-B3	-B4	A5	A6	A7	A8	-C5	-C6	-C7	-C8	B5	B6	B7	B8	-A1	-A2	-A3	-A4	C1	C2	C3	C4	-B1	-B2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
-15	-15	-10	-10	0	0	10	10	15	15	20	20	15	15	10	10	0	0	-10	-10	-15	-15	-20	-20

b) Önce sargı uzanım ve dağılım katsayılarını bulmalıyız. MMK dağılımı (veya faz sargılarının oluklara yerleşimi) statorun bir turu boyunca 1 tam periyot yaptığı için makina 1 çift kutupludur: $P = 2$

Elektriksel oluk açısı: $\gamma = \frac{360^\circ}{24 \text{ oluk}} \frac{P}{2} = 15^\circ / \text{oluk}$

A₁ : 1. olukta, -A₁: 15. olukta olduğu için sargı uzanımı = 15-1 = 14 oluk (Tüm sargılarda da uzanım aynı)

Elektriksel sargı uzanımı: $\rho = 14 \cdot \gamma = 210^\circ$

$k_{un} = \left| \sin\left(\frac{n \cdot 210^\circ}{2}\right) \right|$ Harmoniklere göre uzanım katsayıları

$k_{u1} = \left| \sin(1 \times 105^\circ) \right| = 0,9659$ $k_{u3} = \left| \sin(3 \times 105^\circ) \right| = 0,7071$ $k_{u5} = \left| \sin(5 \times 105^\circ) \right| = 0,2588$

Aynı katta aynı faz sargısından yan yana 4 olukta bulunduğu için faz-kutup başına oluk sayısı: $q = 4$

$k_{dn} = \left| \frac{\sin(4n \cdot 15^\circ/2)}{4 \sin(n \cdot 15^\circ/2)} \right| = \left| \frac{\sin(n \cdot 30^\circ)}{4 \sin(n \cdot 7,5^\circ)} \right|$ Harmoniklere göre dağılım katsayıları

$k_{d1} = \left| \frac{\sin(30^\circ)}{4 \sin(7,5^\circ)} \right| = 0,9577$ $k_{d3} = \left| \frac{\sin(90^\circ)}{4 \sin(22,5^\circ)} \right| = 0,6533$ $k_{d5} = \left| \frac{\sin(150^\circ)}{4 \sin(37,5^\circ)} \right| = 0,2053$

Harmoniklere göre sargı başına endüklenen gerilim $E_{n \text{ rms}} / \text{sargı} = 2Nk_{un} (E_{n \text{ rms}} / \text{iletken})$

$E_{1 \text{ rms}} / \text{sargı} = 2 \times 10 \times 0,9659 \times 3,0V = 57,95V$ $E_{3 \text{ rms}} / \text{sargı} = 2 \times 10 \times 0,7071 \times 1,8V = 25,46V$

$E_{5 \text{ rms}} / \text{sargı} = 2 \times 10 \times 0,2588 \times 1,2V = 6,21V$

Aynı fazdan $N_{\text{faz}} = 8$ farklı numaralı sargı var. (Veya $N_{\text{faz}} = \frac{24 \text{ oluk}}{3 \text{ faz}} \times \frac{1 \text{ sargı}}{2 \text{ oluk}} \times 2 \text{ kat} = 8 \text{ sargı/faz}$)

Harmoniklere göre faz başına endüklenen gerilim $E_{n\text{rms}}/\text{faz} = N_{\text{faz}} k_{dn}(E_{n\text{rms}}/\text{sargı})$

$$E_{1\text{rms}}/\text{faz} = 8 \times 0,9577 \times 57,95V = 443,99V$$

$$E_{3\text{rms}}/\text{faz} = 8 \times 0,6533 \times 25,46V = 133,06V$$

$$E_{1\text{rms}}/\text{faz} = 8 \times 0,2053 \times 6,21V = 10,20V$$

Bütün harmonikler birlikte faz-nötr etkin gerilimi: $E_{rms}/\text{faz} = \sqrt{443,99^2 + 133,06^2 + 10,20^2} V = 464V$

Y bağlantıda 3'ün tam katı numaralı harmonikler fazlar arası gerilimde görülmeyeceği için tüm harmonikler birlikte fazlar arası gerilim etkin değeri: $E_{rms}(\text{fazlar arası}) = \sqrt{3} \cdot \sqrt{443,99^2 + 10,20^2} V = 769V$

2) $k_{u5} = \left| \sin\left(\frac{5\rho}{2}\right) \right| = 0$ olması için $5\rho/2 = m \cdot 180^\circ$ (elektirsel) olmalıdır (m herhangi bir pozitif tamsayı)

En küçük ρ için $m = 1$ seçersek $\rho < 90^\circ$ olacağından $m = 2$ seçmeliyiz. Böylece $5\rho/2 = 2 \times 180^\circ$ olur.

Oluk sayısı cinsinden yazarsak, elektirsel 180° yerine kutup uzanımını, yani toplam oluk sayısının (N_o diyelim) kutup sayısına (P) oranını, ρ yerine de oluk sayısı cinsinden sargı uzanımını (ρ_o diyelim) yazarız:

$$5\rho_o/2 = 2N_o/P \quad \rightarrow \quad \rho_o = \frac{4N_o}{5P} \quad \text{olur. } N_o \text{ kutup sayısının tam katı olmalıdır. Bu yüzden en küçük}$$

$$N_o \text{ için en küçük kutup sayısını, } P = 2, \text{ seçeriz. Böylece } \rho_o = \frac{2N_o}{5}$$

N_o aynı zamanda faz sayısının da (3'ün) tam katı olmalıdır. Kutup sayısının da tam katı olduğundan çift sayı olması gerekir. ρ_o da tam sayı olacağından, N_o , hem 2, hem 3, hem de 5'in tam katı olmalıdır ki en küçük pozitif değer $N_o = 30$ oluk olmalıdır. O zaman $\rho_o = 2 \times 30/5 = 12$ oluk olur. Ayrıca $P = 2$ demiştik.

$$\text{Sağlamasını yapalım: } \rho = 12 \times \frac{360^\circ}{30} \times \frac{P}{2} = 144^\circ (\text{elk}) \quad \rightarrow \quad k_{u5} = \left| \sin\left(\frac{5 \times 144^\circ}{2}\right) \right| = \left| \sin 360^\circ \right| = 0$$

3) Stator Δ olduğundan tek faz değerleri, $V_{10} = 1000V$, $I_{10} = 1,20A/\sqrt{3} = 0,693A$, $P_{10} = 1800W/3 = 600W$

$$V_{1k} = 46,2V, \quad I_{1k} = 40A/\sqrt{3} = 23,09A, \quad P_{1k} = 2100W/3 = 700W, \quad r_1 = 0,44\Omega \times 3/2 = 0,66\Omega \text{ bulunur.}$$

$$Y_0 = \frac{0,693A}{1000V} = 693\mu S \quad g_c = \frac{600W}{(1000V)^2} = 600\mu S \quad b_m = \sqrt{693^2 - 600^2} \mu S = 347\mu S$$

$$Z_k = \frac{46,2V}{23,09A} = 2,0\Omega \quad (r_1 + r'_2) = \frac{700W}{(23,09A)^2} = 1,31\Omega \quad r'_2 = 1,31\Omega - 0,66\Omega = 0,65\Omega$$

$$(x_1 + x'_2) = \sqrt{2,0^2 - 1,31^2} \Omega = 1,51\Omega \quad x_1 = x'_2 = 0,75\Omega$$

Rotor sargı uçları açıkken tek faz gerilimleri statorda (Δ) $220V$, rotorda (Y) $190V/\sqrt{3} = 110V$

$$\text{Stator/Rotor sarım oranı } N_1/N_2 = 220/110 = 2$$

Kendi tarafındaki değerleriyle $r_2 = (N_2/N_1)^2 r'_2 = 0,65\Omega/2^2 = 0,163\Omega$ (rotor sargısı direnci)

$$x_2 = 0,75\Omega/2^2 = 0,189\Omega \text{ (stator frekansında hesaplanmış } = 2\pi f L_{2k})$$

$$\text{Rotor sargısı kaçak endüktansı ise: } L_{2k} = \frac{0,189\Omega}{2\pi \times 50Hz} = 602\mu H$$

$$4) n_r \approx n_s \quad \rightarrow \quad 350 \approx \frac{120 \times 50}{P} \quad \rightarrow \quad P \approx 6000/350 \approx 17,1$$

Aslında $n_r < n_s$ olduğundan $P < 17,1$ ve çift sayı olmalıdır. Yani $P = 16$ kutupludur.

$$n_s = \frac{120 \times 50}{16} \text{ devir/dakika} = 375 \text{ devir/dakika} \quad \rightarrow \quad \text{Anma değerlerindeki kayma: } s = \frac{375 - 350}{375} = 0,0667$$

$$60 \text{ Hz'deki senkron hızı ise } n_s = \frac{120 \times 60}{16} \text{ devir/dakika} = 450 \text{ devir/dakika}$$

ELEKTRİK MAKİNALARI – 2 FİNAL SINAVI SORULARI

16.06.2011 Süre: 70 dakika

1) Bir rüzgâr türbininin üç fazlı, statoru Y bağlı, 50Hz'lik, 8 kutuplu asenkron jeneratörünün tek faza indirgenmiş ve statora yansıtılmış eşdeğer devre parametreleri

$$r_1 = r'_2 = 0,5 \Omega, \quad x_1 = x'_2 = 0,7 \Omega, \quad g_c = b_m = 0,009 S$$

olup statoruna fazlar arası 380V uygulanırken 825 devir/dakika hızla dönmekte ve sürtünme kaybı 2240W olmaktadır. Yaklaşık eşdeğer devre kullanarak bu çalışma için jeneratörün verimini ve brüt giriş torkunu hesaplayınız. (30 puan)

2) Y/Y bağlı bilezikli bir asenkron motorun tek faza indirgenmiş ve statora yansıtılmış eşdeğer devre parametreleri

$$r_1 = 2 \Omega, \quad r'_2 = 3 \Omega, \quad x_1 = x'_2 = 4 \Omega, \quad g_c = b_m = 0,005 S$$

ve stator/rotor tek faz sarım oranı 2/1'dir. Rotor sargı uçlarına Y bağlı olarak faz başına 1.5Ω ilave edilirse tork-hız eğrisindeki maksimum tork hangi kayma değerinde elde edilir? Bu değerle makine hangi moddadır? (fren mi, motor mu?)(14+6 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, 2 kutuplu bilezikli bir asenkron motorun statoruna 50Hz'lik, rotoruna da 5Hz'lik yeterli büyüklükte dengeli üç fazlı akımlar uygulanıyor. Faz sıralarının iki seçeneği için hangi dönüş hızları elde edilir? (10 puan)

4) Üç fazlı, 50 Hz'lik, 600 devir/dakikalık, yıldız bağlı, 380V'luk, 5 kVA'lık bir senkron alternatöre açık devre ve kısa devre testleri yapılıyor. Aşağıdaki sonuçlar (hat değerleri) elde ediliyor. Makinanın doymuş ve doymamış senkron reaktansları ile kısa devre oranını bulunuz (20 puan). (Armatür direnci ihmal ediliyor.)

Açık Devre Testi	
Uyartım akımı (A)	Armatür hat gerilimi (V)
0,4	120
0,8	240
1,2	320
1,6	380
2,0	420

Kısa Devre Testi	
Uyartım akımı (A)	Armatür hat akımı (A)
0,4	1,9
0,8	3,8
1,2	5,7
1,6	7,6
2,0	9,5

5) Üç fazlı, silindirik rotorlu, özdeş iki senkron makina armatürlerinden birbirine bağlı olup birisi jeneratör, diğeri motor modunda aynı sabit değerle uyartım akımlarıyla, sabit hızda çalıştırılmaktadır. Bu sırada motorun mekanik yükü değiştirilirken güç faktörünün hiç değişmediğini tek faz vektör şemasıyla gösteriniz. Motor güç faktörünün değişmeyen bu değeri nedir? (20 puan) (Armatür dirençleri ihmal ediliyor.)

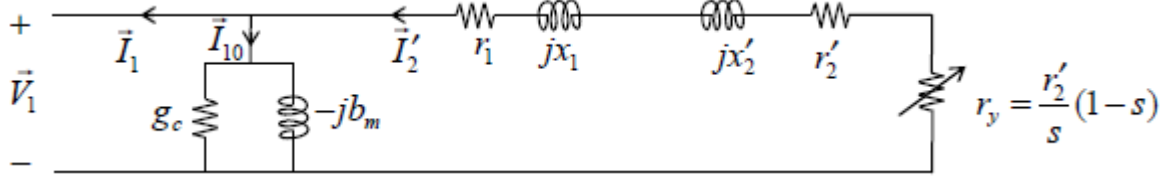
Yardımcı formül:
$$P = \frac{E_1 E_2}{X} \sin \delta \quad (\text{tek faz})$$

BAŞARILAR ...

Yard. Doç. Dr. Ata SEVİNÇ

ELEKTRİK MAKİNALARI – 2 FİNAL SINAVI CEVAP ANAHTARI
16.06.2011

1)



Akım yönlerini jeneratör için şekildeki gibi tanımlayalım. Fakat stator akımı ve güç faktörü sorulmadığı için vektörel (karmaşık sayılarla) işlem yapmaya gerek yoktur.

$$n_s = \frac{120 \times 50}{8} \text{ dev/dak} = 750 \text{ dev/dak} \rightarrow s = \frac{750 - 825}{750} = -0,1 \rightarrow r_y = \frac{0,5 \Omega (1 + 0,1)}{-0,1} = -5,5 \Omega$$

$$Y \text{ olduğundan, } V_1 = 380V / \sqrt{3} = 219,4V \rightarrow I_2' = \frac{219,4}{\sqrt{(0,5 + 0,5 - 5,5)^2 + (0,7 + 0,7)^2}} A = 46,55A$$

$$P_{Cu} = 3(0,5 + 0,5)46,55^2 W = 6,50 \text{ kW} \quad P_{Fe} = 3 \times 0,009 \times 219,4^2 W = 1,30 \text{ kW} \quad P_{sür} = 2,24 \text{ kW}$$

$$P_m = -3(-5,5)46,55^2 W = 35,76 \text{ kW} \text{ (Giriş gücü (net) yönünde tanımlanmış)}$$

$$\text{Brüt giriş gücü: } P_g = 35,76 \text{ kW} + 2,24 \text{ kW} = 38,00 \text{ kW} \text{ (mekanik)}$$

$$\text{Çıkış gücü: } P_c = (35,76 - 6,50 - 1,30) \text{ kW} = 27,96 \text{ kW} \text{ (elektriksel)}$$

$$\text{Verim} = \frac{27,96}{38,00} = \%73,6 \quad \omega_r = \frac{\pi}{30} \cdot 825 \text{ rad/s} = 86,4 \text{ rad/s}$$

$$\text{Brüt giriş torku: } T_g = \frac{38,00 \text{ kW}}{86,4 \text{ rad/s}} = 440 \text{ Nm}$$

2) Yaklaşık eşdeğer devre kullanılırken $R_1 = r_1$ ve $X_1 = x_1$ alınır. $r_{2ilave} = 1,5 \Omega$

$$r_{2ilave}' = 2^2 \cdot 1,5 \Omega = 6,0 \Omega \rightarrow r_{2Top}' = 3 \Omega + 6 \Omega = 9 \Omega$$

$$s_{T_{\max}} = \frac{9}{\sqrt{2^2 + (4 + 4)^2}} = 1,09 \text{ Kayma 1'den büyük } (n_r < 0) \text{ olduğu için fren modundadır.}$$

3) $n_r = \frac{120(f \pm f_r)}{P} = \frac{120(50 \pm 5)}{2} \text{ dev/dk}$ Rotor faz sırası statorunkiyle aynıysa aradaki işaret eksi,

zıtsa artıdır. Yani motor, faz sıraları aynı ise 2700 devir/dakika hızla, faz sıraları ters ise 3300 devir/dakika hızla döner.

4) Armatür direnci ihmal edildiği için empedanslar reaktanslara eşittir. Y bağlantıdan dolayı gerilimler $\sqrt{3}$ 'e bölünerek tek faza indirgenir. Akımlar ise aynıdır.

$$\text{ADK'da } 380V \text{'u veren uyartım akımı KDK'da } 7,6A \text{ verdiği için } X_s^{\text{doymuş}} = \frac{380V / \sqrt{3}}{7,6A} = 28,9 \Omega / \text{faz.}$$

ADK'nın ilk 2 ölçüm takımı doğrusal bölgesi (HAD) üzerindedir. Bu yüzden:

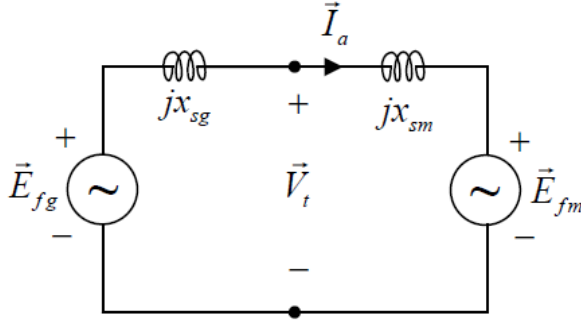
$$X_s^{\text{doymamis}} = \frac{240V / \sqrt{3}}{3,8A} = \frac{120V / \sqrt{3}}{1,9A} = 36,5 \Omega / \text{faz} \quad \text{Anma akımı} = \frac{5000 \text{ VA}}{\sqrt{3} \cdot 380 \text{ V}} = 7,6A \text{ olup KDK'da}$$

bunu veren uyartım 1,6A'dır. ADK'da anma gerilimini veren uyartım da 1,6A'dır. Dolayısıyla

$$\text{Kısa devre oranı} = \frac{1,6}{1,6} = 1,0 = k_{do}$$

5)

EM-2-F-2011-CA-2



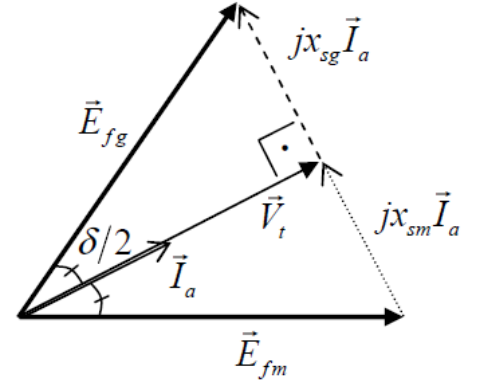
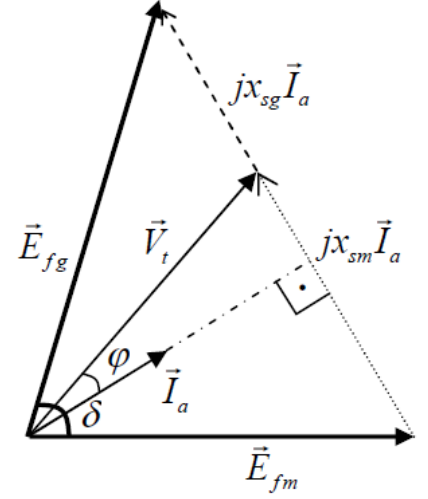
Genel olarak silindirik rotorlu bir senkron alternatör (ya da bir ac kaynak), silindirik rotorlu bir senkron motora bağlarsa, şeklin sağında verilen devre bağıntıları nedeniyle tek faz vektör şeması yandaki gibi olur. Burada δ açısı, \vec{E}_{fg} ile \vec{E}_{fm} arasındaki açının tamamıdır. φ ise senkron motorun güç faktörü ($\cos \varphi$) hesabında kullanılan güç açısıdır.

Ancak bunlar özdeş senkron makineler iseler ve hızları ile uyartım akımları aynıysa $E_{fg} = E_{fm}$ (büyüklükçe) olur. Buna göre altta gösterildiği gibi bu vektör şeması ikizkenar bir üçgen haline gelir. İkizkenar üçgenin farklı kenarına ait yükseklik ile kenarortay aynıdır. Bu yükseklik, \vec{I}_a 'nın doğrultusundadır. Makinaların özdeş, yani senkron reaktansların eşit ($x_{sg} = x_{sm}$) olduğu duruma mahsus olarak da \vec{V}_t kenarortaydır. Bu yüzden \vec{V}_t ile \vec{I}_a vektörleri alt şemadaki gibi aynı yönlü olarak elde edilir: Motorun yükü değişirken δ değişir; ancak δ ne olursa olsun, \vec{V}_t ile \vec{I}_a arasındaki açı verilen şartlara göre hep 0° olduğundan, motorun güç faktörü daima $\cos 0^\circ = 1$ olur. (1 için ileri veya geri demeyiz.)

$$\vec{E}_{fg} - \vec{E}_{fm} = j(x_{sg} + x_{sm})\vec{I}_a$$

$$\vec{V}_t = \vec{E}_{fm} + jx_{sm}\vec{I}_a$$

$$\vec{I}_a \perp j\vec{I}_a$$



ELEKTRİK MAKİNALARI – 2 BÜTÜNLEME SINAVI SORULARI

30.06.2011 Süre: 70 dakika

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

$$r_1 = 5\Omega, r_2' = 4\Omega, x_1 = x_2' = 10\Omega, g_c = 0,002S, b_m = 0,008S$$

olup statoruna fazlar arası 380V uygulanırken 1150 devir/dakika hızla dönmekte ve sürtünme kaybı 500W olmaktadır. Yaklaşık eşdeğer devre kullanarak bu çalışma için jeneratörün verimini ve brüt giriş torkunu hesaplayınız. (30 puan)

2) Üç fazlı 6 kutuplu Y/Y bağlı bilezikli bir asenkron motorun tek faza indirgenmiş ve statora yansıtılmış eşdeğer devre parametrelerinin bazıları

$$r_1 = 3\Omega, x_1 = x_2' = 2\Omega$$

ve stator/rotor tek faz sarım oranı 2/1'dir. Rotor sargı uçlarına Y bağlı olarak faz başına 0,5 Ω ilave edilirse 50 Hz'deki tork-hız eğrisindeki maksimum tork, 100 devir/dakika hızında görülüyor. Yaklaşık eşdeğer devre kullanarak, rotorun kendi direncinin (ilâvesiz değerinin) statora yansıtılmış değerini (r_2') hesaplayınız. (20 puan)

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

3) Üç fazlı, 6 kutuplu bilezikli bir asenkron motorun statoruna 50Hz'lik, rotoruna da 12Hz'lik yeterli büyüklükte dengeli üç fazlı akımlar uygulanıyor. Faz sıralarının iki seçeneği için hangi dönüş hızları elde edilir? (10 puan)

4) Üç fazlı, 50 Hz'lik, 1000 devir/dakikalık, **üçgen** bağlı, 1000V'luk, 26,5 kVA'lık bir senkron alternatöre açık devre ve kısa devre testleri yapılıyor. Aşağıdaki sonuçlar (hat değerleri) elde ediliyor. Makinanın doymuş ve doymamış senkron reaktansları ile kısa devre oranını bulunuz (20 puan). (Armatür direnci ihmal ediliyor.)

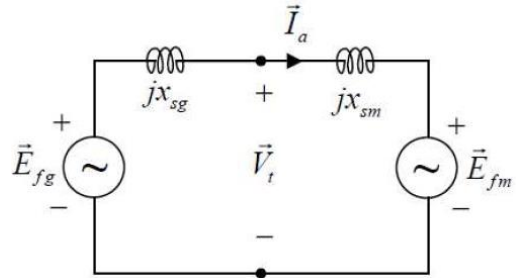
Açık Devre Testi	
Uyartım akımı (A)	Armatür hat gerilimi (V)
0,6	315
1,2	630
1,8	840
2,4	1000
3,0	1110

Kısa Devre Testi	
Uyartım akımı (A)	Armatür hat akımı (A)
0,6	3,06
1,2	6,12
1,8	9,18
2,4	12,24
3,0	15,30

5) Üç fazlı, silindirik rotorlu, Y bağlı iki senkron makina armatürlerinden birbirine bağlı olup birisi jeneratör, diğeri motor modunda sabit hızda çalıştırılmaktadır. $E_{fg} = 2E_{fm}$ olacak şekilde motor ve jeneratöre sabit uyartım akımları uygulanıyor. Tek faz senkron reaktanslarının oranı ise tam tersidir: $X_{sm} = 2X_{sg}$. Bu şartlarda motorun yükü maksimum tork değerine getiriliyor. Bu durumdaki tek faz vektör şemasını (\vec{E}_{fg} , \vec{E}_{fm} , \vec{I}_a ve \vec{V}_t 'yi) çiziniz. (Armatür dirençleri ihmal ediliyor. Vektörlerin ve dik olmayan açıların büyüklüklerini bulmanız beklenmiyor. Ancak \vec{I}_a ile \vec{V}_t 'nin birbirine göre yönleri doğru olmalı ve dik açılar gösterilmelidir.) (20 puan)

Yardımcı formül:

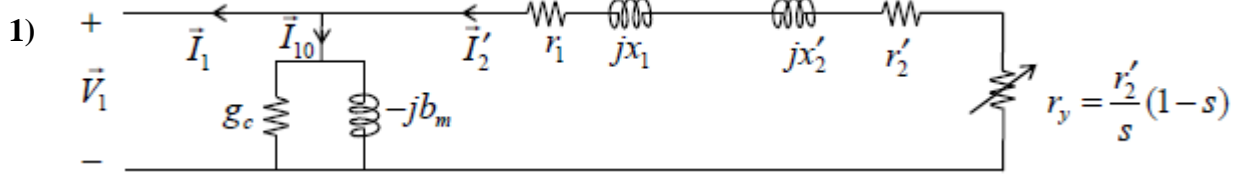
$$P = \frac{E_1 E_2}{X} \sin \delta \quad (\text{tek faz})$$



BAŞARILAR ...

Yard. Doç. Dr. Ata SEVİNÇ

ELEKTRİK MAKİNALARI – 2 BÜTÜNLEME SINAVI CEVAP ANAHTARI
30.06.2011



Akım yönlerini jeneratör için şekildeki gibi tanımlayalım. Fakat stator akımı ve güç faktörü sorulmadığı için vektörel (karmaşık sayılarla) işlem yapmaya gerek yoktur.

$$n_s = \frac{120 \times 50}{6} \text{ dev/dak} = 1000 \text{ dev/dak} \quad \rightarrow \quad s = \frac{1000 - 1150}{1000} = -0,15$$

$$\rightarrow r_y = \frac{4\Omega \cdot (1 + 0,15)}{-0,15} = -30,67\Omega$$

$$Y \text{ olduğundan, } V_1 = 380V / \sqrt{3} = 219,4V \quad \rightarrow \quad I_2' = \frac{219,4}{\sqrt{(5 + 4 - 30,67)^2 + (10 + 10)^2}} A = 7,44A$$

$$P_{Cu} = 3(5 + 4)7,44^2 W = 1495 W \quad P_{Fe} = 3 \times 0,002 \times 219,4^2 W = 289 W \quad P_{sür} = 500 W$$

$$P_m = -3(-30,67)7,44^2 W = 5093 W \text{ (Giriş gücü (net) yönünde tanımlanmış)}$$

$$\text{Brüt giriş gücü: } P_g = 5093 W + 500 W = 5593 W \text{ (mekanik)}$$

$$\text{Çıkış gücü: } P_\varphi = (5093 - 1495 - 289) W = 3310 W \text{ (elektriksel)}$$

$$\text{Verim} = \frac{3310}{5593} = \%59,2 \quad \omega_r = \frac{\pi}{30} \cdot 1150 \text{ rad/s} = 120,4 \text{ rad/s}$$

$$\text{Brüt giriş torku: } T_g = \frac{5593 W}{120,4 \text{ rad/s}} = 46,4 Nm$$

$$2) r_{2ilave} = 0,5\Omega \quad \rightarrow \quad r_{2ilave}' = 2^2 \cdot 0,5\Omega = 2,0\Omega$$

$$n_s = \frac{120 \times 50}{6} \text{ dev/dk} = 1000 \text{ dev/dk} \quad \rightarrow \quad n_r = 100 \text{ dev/dk} \text{ iken } s = s_{T\max} = \frac{1000 - 100}{1000} = 0,9$$

$$s_{T\max} = \frac{r_{2Top}'}{\sqrt{3^2 + (2 + 2)^2}} = 0,9 \quad \rightarrow \quad r_{2Top}' = 5\Omega \times 0,9 = 4,5\Omega = r_2' + 2,0\Omega$$

$$\rightarrow 4,5\Omega - 2,0\Omega = \boxed{r_2' = 2,5\Omega}$$

$$3) n_r = \frac{120(f \pm f_r)}{P} = \frac{120(50 \pm 12)}{6} \text{ dev/dk} \quad \text{Rotor faz sırası statorunkiyle aynıysa aradaki işaret eksi, zıtsa artıdır. Yani motor, faz sıraları aynı ise 760 devir/dakika, faz sıraları ters ise 1240 devir/dakika hızla döner.}$$

4) Armatür direnci ihmal edildiği için empedanslar reaktanslara eşittir. Δ bağlantıdan dolayı akımlar $\sqrt{3}$ 'e bölünerek tek faza indirgenir. Gerilimler ise aynıdır.

ADK'da 1000V'u veren uyarım akımı KDK'da 12,24A verdiği için

$$X_s^{\text{doymuş}} = \frac{1000V}{12,24 A / \sqrt{3}} = 142,5 \Omega / \text{faz}.$$

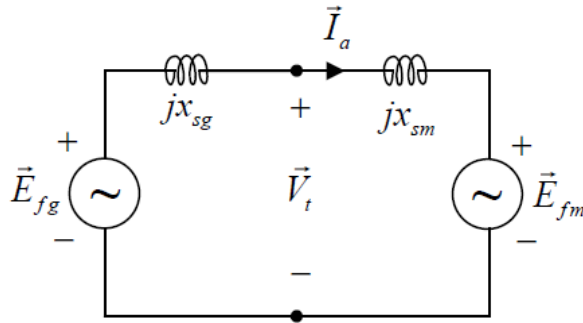
ADK'nın ilk 2 ölçüm takımı doğrusal bölgesi (HAD) üzerindedir. Bu yüzden bunların herhangi birinden:

$$X_s^{\text{doymamis}} = \frac{630V}{6,12 A / \sqrt{3}} = \frac{315V}{3,06 A / \sqrt{3}} = 178,3 \Omega / \text{faz} \quad \text{Anma hat akımı} = \frac{26500 VA}{\sqrt{3} \cdot 1000 V} = 15,3A \text{ olup}$$

KDK'da bunu veren uyarım 3,0A'dır. ADK'da anma gerilimini veren uyarım ise 2,4A'dır. Dolayısıyla

$$\text{Kısa devre oranı} = \frac{2,4}{3,0} = 0,8 = k_{do}$$

5)

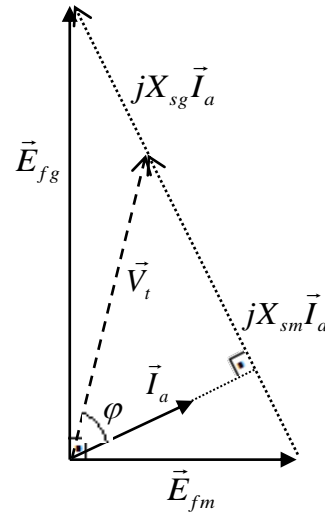


$$\vec{E}_{fg} - \vec{E}_{fm} = j(x_{sg} + x_{sm})\vec{I}_a$$

$$\vec{V}_t = \vec{E}_{fm} + jx_{sm}\vec{I}_a$$

$$\vec{I}_a \perp j\vec{I}_a$$

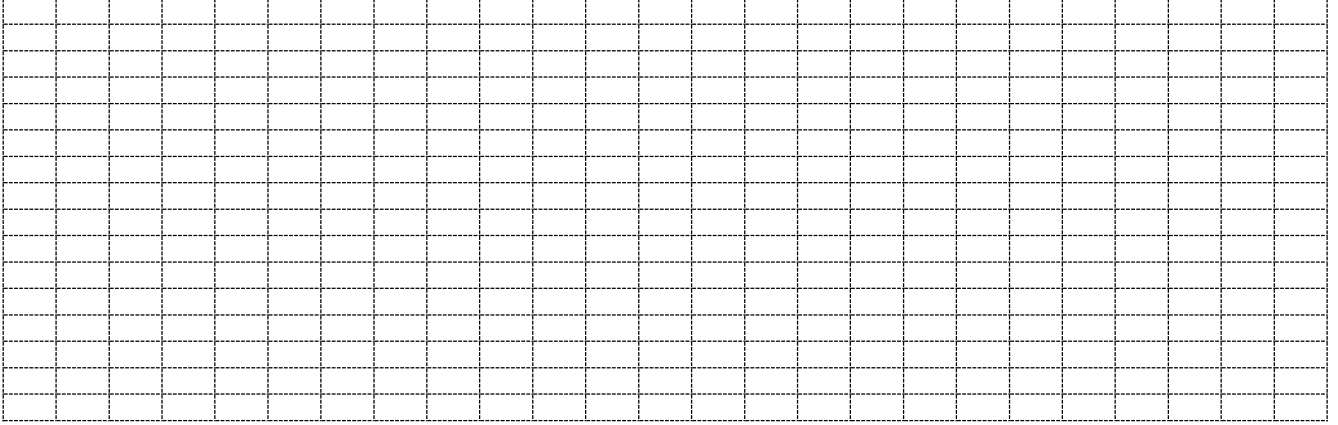
Maksimum güç durumunda vektör şeması yandaki gibi olur.



Öğrenci No		1	2	3	TOPLAM
Adı Soyadı					

ELEKTRİK MAKİNALARI – 2 ARASINAV SORULARI
20 Nisan 2012 Süre: 60 dakika

- 1) Aşağıdaki şekilde 1 birimlik yükseklik için aldığınız değeri yazınız: $\times \hat{I}$



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

Bir ac makina statorunda 24 oluk vardır ve Y bağlı sargıları oluklara çift katlı olarak şekildeki gibi yerleştirilmiştir. Stator ve rotor manyetik geçirgenliği $\mu \approx \infty$ ve hava aralığı düzgündür (silindirik). Her stator sargısı $N = 10$ sarımlıdır.

- a) Statordan $i_A = \hat{I} \cos \omega t$, $i_B = \hat{I} \cos(\omega t - 120^\circ)$, $i_C = \hat{I} \cos(\omega t - 240^\circ)$ biçiminde dengeli üç fazlı akım geçiyorsa göre hava aralığında stator tarafından üretilen mmk dağılımını $\omega t = 180^\circ$ anı için çiziniz.
- b) Bu sargılara uygulanan manyetik akı sonucu iletken başına endüklenen gerilimin temel bileşen, 3. ve 5. harmonik etkin değerleri sırasıyla $E_{1rms}/iletken = 6,0V$, $E_{3rms}/iletken = 3,2V$, $E_{5rms}/iletken = 2,4V$ olduğuna göre, faz-nötr ve fazlar arası gerilimlerin etkin değerlerini tüm harmoniklerin bileşkesi olarak bulunuz.

$$k_{un} = \left| \sin\left(\frac{n\rho}{2}\right) \right| \quad k_{dn} = \left| \frac{\sin(qn\gamma/2)}{q \sin(n\gamma/2)} \right| \quad (35 \text{ puan})$$

- 2) Üç fazlı, 50 Hz'lik Δ / Y bağlı bilezikli bir asenkron motora yüksüz çalışma ve kilitli rotor testleri yapılırca statordan hat ölçümleri aşağıdaki gibi alınır:

	Stator Hat Ölçümleri		
	Gerilim	Akım	Güç
Yüksüz çalışma testi	15000 V	2,0 A	21,0 kW
Kilitli rotor testi	300 V	40,0 A	16,0 kW

Ayrıca statorun iki hat ucu arasından ölçülen direnç (üçüncü hat ucu boştayken) $4,20 \Omega$ olmaktadır. Son olarak da rotor sargı uçları açık devre ediliyor ve statordan fazlar arası 12000 V uygulanınca rotordan da fazlar arası 4157 V ölçülüyor. Motorun tek faza indirgenmiş ve statora yansıtılmış eşdeğer devre parametrelerini yaklaşık olarak bulunuz. Ayrıca rotor sargısının kaçak endüktansı ile direncini de rotor tarafındaki değerleriyle bulunuz.

(25 puan)

- 3) Üç fazlı, 50 Hz'lik, 2400V'luk, 950 devir/dakika'lık, statoru **yıldız(Y)** bağlı bir asenkron motorun tek faza indirgenmiş ve statora yansıtılmış eşdeğer devre parametreleri şöyledir:

$$r_1 = 1,2\Omega \quad , \quad r'_2 = 1\Omega \quad , \quad x_1 = x'_2 = 8\Omega \quad , \quad g_c = 1,2mS \quad , \quad b_m = 8,5mS$$

Bu motor anma değerleriyle çalışırken sürtnme kaybı 12kW'tır. Motorun verimini, çıkış torkunu, stator hat akımının büyüklüğünü ve giriş güç faktörünü bulunuz. (40 puan)

BAŞARILAR ...

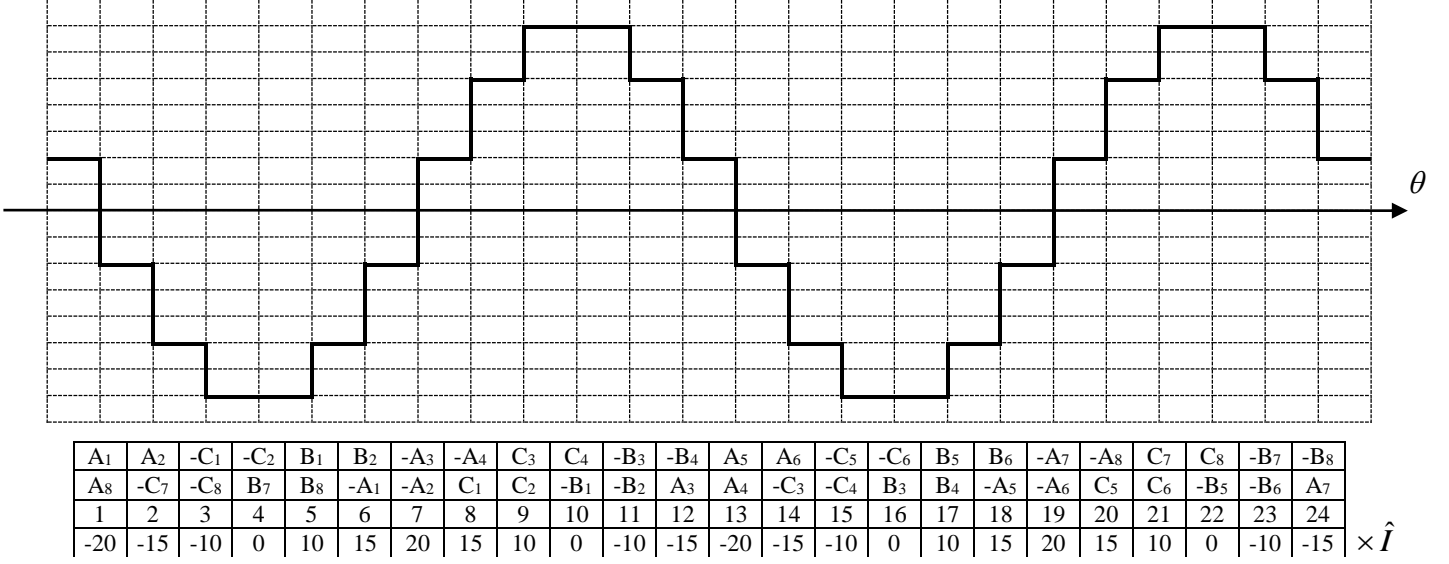
Yard. Doç. Dr. Ata SEVİNÇ

ELEKTRİK MAKİNALARI – 2 ARASINAV CEVAP ANAHTARI
20 Nisan 2012

1) a) $\omega t = 180^\circ$ anı için $i_A = -\hat{I}$, $i_B = i_C = \hat{I}/2$

$N = 10$ olduğundan her bir A sargısı $Ni_A = -10\hat{I}$, her bir B veya C sargısı da $Ni_B = Ni_C = 5\hat{I}$ kadar seviye değişimi yapar. (Eksi işaretli kenarları da bunların eksisi kadar.) Bunların iki kat sargı için toplamı (\hat{I} ’nın kaç katı olduğu) aşağıda oluk numaralarının altında gösterilmiştir.

Aşağıdaki şekilde 1 birimlik yükseklik için alınan değer: $5 \times \hat{I}$



b) Önce sargı uzanım ve dağılım katsayılarını bulmalıyız. MMK dağılımı (veya faz sargılarının oluklara yerleşimi) statorun bir turu boyunca 2 tam periyot yaptığı için makina 2 **çift** kutupludur: $P = 4$

Elektriksel oluk açısı: $\gamma = \frac{360^\circ}{24\text{oluk}} \frac{P}{2} = 30^\circ / \text{oluk}$

A_1 : 1. olukta, $-A_1$: 6. olukta olduğu için sargı uzanımı = 6-1 = 5 oluk (Tüm sargılarda da uzanım aynı)

Elektriksel sargı uzanımı: $\rho = 5 \cdot \gamma = 150^\circ$

$k_{un} = \left| \sin\left(\frac{n \cdot 150^\circ}{2}\right) \right|$ Harmoniklere göre uzanım katsayıları

$k_{u1} = \left| \sin(1 \times 75^\circ) \right| = 0,9659$ $k_{u3} = \left| \sin(3 \times 75^\circ) \right| = 0,7071$ $k_{u5} = \left| \sin(5 \times 75^\circ) \right| = 0,2588$

Aynı katta aynı faz sargısından yan yana 2 olukta bulunduğu için faz·kutup başına oluk sayısı: $q = 2$

$k_{dn} = \left| \frac{\sin(2n \cdot 30^\circ/2)}{2 \sin(n \cdot 30^\circ/2)} \right| = \left| \frac{\sin(n \cdot 30^\circ)}{2 \sin(n \cdot 15^\circ)} \right|$ Harmoniklere göre dağılım katsayıları

$k_{d1} = \left| \frac{\sin(30^\circ)}{2 \sin(15^\circ)} \right| = 0,9659$ $k_{d3} = \left| \frac{\sin(90^\circ)}{2 \sin(45^\circ)} \right| = 0,7071$ $k_{d5} = \left| \frac{\sin(150^\circ)}{2 \sin(75^\circ)} \right| = 0,2588$

Harmoniklere göre sargı başına endüklenen gerilim $E_{n\text{rms}} / \text{sargı} = 2Nk_{un}(E_{n\text{rms}} / \text{iletken})$

$$E_{1\text{rms}}/\text{sargı} = 2 \times 10 \times 0,9659 \times 6,0V = 115,91V \quad E_{3\text{rms}}/\text{sargı} = 2 \times 10 \times 0,7071 \times 3,2V = 45,25V$$

$$E_{5\text{rms}}/\text{sargı} = 2 \times 10 \times 0,2588 \times 2,4V = 12,42V$$

$$\text{Aynı fazdan } N_{\text{faz}} = 8 \text{ farklı numaralı sargı var. (Veya } N_{\text{faz}} = \frac{24\text{oluk}}{3 \text{ faz}} \times \frac{1 \text{ sargı}}{2 \text{ oluk}} \times 2 \text{ kat} = 8 \text{ sargı/faz)}$$

$$\text{Harmoniklere göre faz başına endüklenen gerilim } E_{n\text{rms}}/\text{faz} = N_{\text{faz}} k_{dn} (E_{n\text{rms}}/\text{sargı})$$

$$E_{1\text{rms}}/\text{faz} = 8 \times 0,9659 \times 115,91V = 895,6V \quad E_{3\text{rms}}/\text{faz} = 8 \times 0,7071 \times 45,25V = 256,0V$$

$$E_{5\text{rms}}/\text{faz} = 8 \times 0,2588 \times 12,42V = 25,7V$$

$$\text{Bütün harmonikler birlikte faz-nötr etkin gerilimi: } E_{rms}/\text{faz} = \sqrt{895,6^2 + 256,0^2 + 25,7^2} V = 932V$$

Y bağlantıda 3'ün tam katı numaralı harmonikler fazlar arası gerilimde görülmeyeceği için tüm harmonikler birlikte fazlar arası gerilim etkin değeri:

$$E_{rms}(\text{fazlar arası}) = \sqrt{3} \cdot \sqrt{895,6^2 + 25,7^2} V = 1552V$$

$$2) \text{ Stator } \Delta \text{ olduğundan tek faz değerleri, } V_{10} = 15000V, \quad I_{10} = 2,0A/\sqrt{3} = 1,155A, \quad P_{10} = 21 \text{ kW}/3 = 7000 \text{ W}$$

$$V_{1k} = 300V, \quad I_{1k} = 40A/\sqrt{3} = 23,09A, \quad P_{1k} = 16 \text{ kW}/3 = 5333 \text{ W}, \quad r_1 = 4,2 \Omega \times 3/2 = 6,3 \Omega \text{ bulunur.}$$

$$Y_0 = \frac{1,155A}{15000V} = 77 \mu S \quad g_c = \frac{7000 \text{ W}}{(15000V)^2} = 31 \mu S \quad b_m = \sqrt{77^2 - 31^2} \mu S = 70 \mu S$$

$$Z_k = \frac{300V}{23,09A} = 13,0 \Omega \quad (r_1 + r'_2) = \frac{5333 \text{ W}}{(23,09A)^2} = 10,0 \Omega \quad r'_2 = 10,0 \Omega - 6,3 \Omega = 3,7 \Omega$$

$$(x_1 + x'_2) = \sqrt{13,0^2 - 10,0^2} \Omega = 8,3 \Omega \quad x_1 = x'_2 = \frac{8,3 \Omega}{2} = 4,15 \Omega$$

$$\text{Rotor sargı uçları açıkken tek faz gerilimleri statorda } (\Delta) \quad 12000 \text{ V, rotorda (Y)} \quad 4157 \text{ V}/\sqrt{3} = 2400 \text{ V}$$

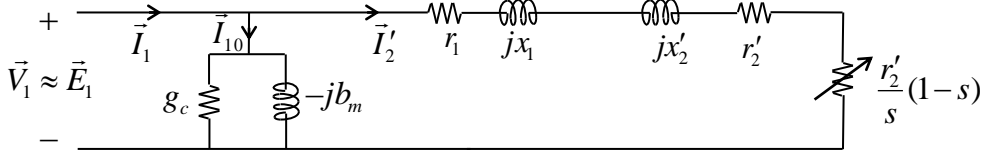
$$\text{Stator/Rotor sarım oranı } N_1/N_2 = 12000/2400 = 5$$

$$\text{Kendi tarafındaki değerleriyle } r_2 = (N_2/N_1)^2 r'_2 = 3,7 \Omega/5^2 = 0,148 \Omega \text{ (rotor sargısı direnci)}$$

$$x_2 = 4,15 \Omega/2^2 = 0,166 \Omega \text{ (stator frekansında hesaplanmış } = 2\pi f L_{2k})$$

$$\text{Rotor sargısı kaçak endüktansı ise: } L_{2k} = \frac{0,166 \Omega}{2\pi \times 50 \text{ Hz}} = 528 \mu H$$

3)



$950 \text{ dev/dak} = n_r < n_s = \frac{120 \times 50}{P} \text{ dev/dak}$ olduğu için kutup sayısı (P) en fazla 6 olabilir. Asenkron motorda aksi söylenmedikçe senkron hız (n_s) gerçek hıza en yakın ve ondan biraz büyük değer olacağı için $P = 6$ kutupludur ve $n_s = 1000 \text{ dev/dak}$ 'dır. Kayma ve elektromekanik güce karşılık gelen direnç ise

$$s = \frac{1000 - 950}{1000} = 0,05 \quad \rightarrow \quad r_y = \frac{r_2'}{s}(1-s) = \frac{1 \Omega \cdot (1 - 0,05)}{0,05} = 19 \Omega$$

Y olduğundan, $V_1 = 2400V/\sqrt{3} = 1386V$. Akım veya gerilimlerden ilki olduğu için açısını keyfî olarak sıfır alabiliriz. $\vec{V}_1 = 1386V \angle 0^\circ$

$$\rightarrow \vec{I}_2' = \frac{1386}{(1,2 + 1 + 19) + j(8 + 8)} A = \frac{1386}{26,56 \angle 37,04^\circ} A = 52,17 A \angle -37,04^\circ$$

$$P_{Cu} = 3 \cdot (1,2 + 1) \cdot 52,17^2 W = 17,96 kW, \quad P_{Fe} = 3 \times 0,0012 \times 1386^2 W = 6,91 kW, \quad P_{sür} = 12 kW,$$

$$P_m = 3 \times 19 \times 52,17^2 W = 155,14 kW \text{ (brüt çıkış gücü)}$$

$$\text{Net çıkış gücü: } P_\zeta = 155,14 kW - 12 kW = 143 kW$$

$$\text{Giriş gücü: } P_g = 155,14 kW + 17,96 kW + 6,91 kW = 180 kW$$

$$\text{Verim} = \frac{143}{180} = \%79,5$$

$$\omega_r = \frac{\pi}{30} \cdot 950 \text{ rad/s} = 99,5 \text{ rad/s}$$

$$\text{Net çıkış torku: } T_\zeta = \frac{143 kW}{99,5 \text{ rad/s}} = 1439 Nm$$

$$\vec{I}_{10} = (1,2 - j8,5) \times 10^{-3} \times 1386 \angle 0^\circ = (1,66 - j11,78) A$$

$$\vec{I}_2' = 52,17 A \angle -37,04^\circ = (41,64 - j31,43) A \quad \vec{I}_1 = \vec{I}_2' + \vec{I}_{10} = (43,30 - j43,21) A = 61,17 A \angle -44,93^\circ$$

Stator Y bağlı olduğu için hat akımının büyüklüğü yine 61,17A'dır.

Giriş güç faktörü ise

$$\cos(0^\circ - (-44,93^\circ)) = \cos 44,93^\circ = 0,708 \text{ geri (akımın açısı voltajın açısından geride)}$$

ELEKTRİK MAKİNALARI – 2 FİNAL SINAVI SORULARI

04 Haziran 2012 Süre: 75 dakika

1) Bir asenkron motor, anma geriliminde yaklaşık senkron hızda çalıştırılırken giriş gücü 140W, akımı ise anma akımının %3'ü olmaktadır. Başka bir çalışmada ise rotor dönemeyecek şekilde zorlanmışken anma akımı uygulanmakta ve giriş gücü 130W, giriş gerilimi ise anma geriliminin %4'ü olmaktadır. Bu asenkron motor daha başka bir çalışmada, anma geriliminin 1,05 katı uygulanırken, belirli bir yük altında, anma akımının %90'ını çekiyorsa, bu son çalışma için demir ve bakır kayıpları toplamı **yaklaşık** ne olur? **(15 puan)**

2) Tek faza indirgenmiş ve statora yansıtılmış eşdeğer devre parametreleri

$$r_1 = 1,0 \, \Omega, \quad r_2' = 3,0 \, \Omega, \quad x_1 = x_2' = 2,0 \, \Omega, \quad g_c = 0,0025 \, S, \quad b_m = 0,004 \, S$$

olan üç fazlı, statoru Δ bağlı, 20 kutuplu bir asenkron jeneratörün statorundan fazlararası 400V uygulanırken 330rpm hızla dönmesi sağlanmaktadır. Bu durumda jeneratörün kendisinden kaynaklanan sürtünme kaybı ise 500W olmaktadır. Jeneratörün verimini ve giriş torkunu hesaplayınız. Frekans 50Hz'dir. Yaklaşık eşdeğer devre kullanınız. **(35 puan)**

3) 3 fazlı, yıldız bağlı, 380V'luk, 1975VA'lık, sargılı rotorlu bir senkron alternatöre açık devre ve kısa devre testleri uygulandığında aşağıdaki ölçümler alınmıştır. Armatür ölçümleri hat değerleridir. Alternatörün tek faza indirgenmiş senkron reaktansının doymuş ve doymamış değerleri ile kısa devre oranını bulunuz. Armatür direncini ihmal ediniz. **(25 puan)**

Açık Devre Testi	
Uyartım akımı (A)	Armatür hat gerilimi (V)
0,1	120
0,2	240
0,3	320
0,4	380
0,5	420

Kısa Devre Testi	
Uyartım akımı (A)	Armatür hat akımı (A)
0,1	1
0,2	2
0,3	3
0,4	4
0,5	5

4) Armatürleri birbirine bağlı özdeş iki senkron makina Y bağlıdır ve faz başına doymamış senkron reaktansları 22Ω 'dur. Uyartım akımlarıyla uyartım akılarının doğru orantılı olduğu bölgede birisi jeneratör, diğeri motor modunda çalıştırılmaktadır. Jeneratörün uyartım akımı, motorun uyartım akımının $\sqrt{3}$ katı olacak şekilde ayarlanıyor. Uyartım akımları ve jeneratörün dönüş hızı sabit tutulurken, motorun mekanik yükü bu şartlardaki maksimum değerine getiriliyor. Bu durumda akımları 10A olduğuna göre motorun fazlararası gerilimini ve giriş güç faktörünü (ileri/geri yönüyle beraber) bulunuz. **(25 puan)**

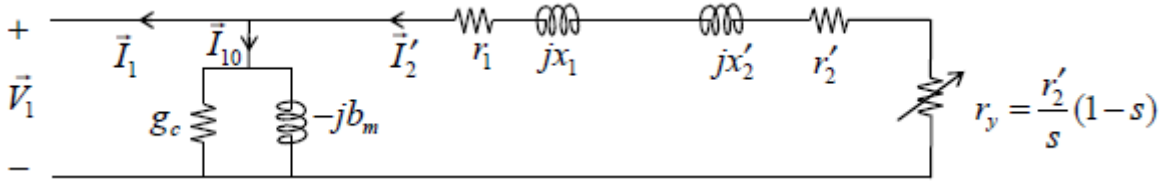
ELEKTRİK MAKİNALARI – 2 FİNAL SINAVI CEVAP ANAHTARI

04 Haziran 2012

1) Yaklaşık senkron hızda çalıştığı durum yüksüz çalışma testi olup giriş gücünün yaklaşık tamamı (140W) demir kaybıdır. Rotorun dönmesinin engellendiği çalışma ise kilitli rotor testi olup giriş gücünün yaklaşık tamamı (130W) bakır kaybıdır.

Küçük değişimlerde demir kaybı gerilimin karesiyle, bakır kaybı ise akımın karesiyle yaklaşık doğru orantılıdır. Buna göre son çalışmada yaklaşık olarak demir kaybı $1,05^2 \times 140 \text{ W}$, bakır kaybı ise $0,90^2 \times 130 \text{ W}$ olup toplamı 260W'tır. Tek veya üç fazlı, ve yıldız veya üçgen bağlı olması sonucu değiştirmez.

2)



$$n_s = \frac{120 \times 50}{20} \text{ rpm} = 300 \text{ rpm} \rightarrow s = \frac{300 - 330}{300} = -0,1 \rightarrow r_y = 3\Omega \times \frac{1 - (-0,1)}{-0,1} = -33\Omega$$

$$\Delta \text{ olduğundan, } V_1 = 400 \text{ V} \rightarrow I_2' = \frac{400}{\sqrt{(1 + 3 - 33)^2 + (2 + 2)^2}} \text{ A} = 13,66 \text{ A}$$

$$P_{Cu} = 3 \times (1 + 3) \times 13,66^2 \text{ W} = 2240 \text{ W} \quad P_{Fe} = 3 \times 0,0025 \times 400^2 \text{ W} = 1200 \text{ W} \quad P_{sür} = 500 \text{ W}$$

$$\text{Net giriş gücü } P_m = -3 \times (-33) \times 13,66^2 \text{ W} = 18483 \text{ W} \quad (\text{İlk eksi işareti gücü giriş yönünde tanımlar})$$

$$\text{Brüt giriş gücü: } P_g = 18483 \text{ W} + 500 \text{ W} \approx 19,0 \text{ kW} \quad (\text{mekanik})$$

$$\text{Çıkış gücü: } P_\phi = (18483 - 2240 - 1200) \text{ W} \approx 15,0 \text{ kW} \quad (\text{elektriksel})$$

$$\text{Verim} = \frac{15,0}{19,0} = \%79 \quad \omega_r = \frac{\pi}{30} \times 330 \text{ rad/s} = 34,6 \text{ rad/s}$$

$$\text{Brüt giriş torku: } T_g = \frac{19,0 \text{ kW}}{34,6 \text{ rad/s}} = 549 \text{ Nm}$$

3) Armatür direnci ihmal edildiği için empedanslar reaktanslara eşittir. Y bağlantıdan dolayı gerilimler $\sqrt{3}$ 'e bölünerek tek faza indirgenir. Akımlar ise aynıdır.

$$\text{ADK'da } 380 \text{ V'u veren uyarım akımı KDK'da } 4 \text{ A verdiği için } X_s^{\text{doymuş}} = \frac{380 \text{ V} / \sqrt{3}}{4 \text{ A}} = 54,85 \Omega / \text{faz}.$$

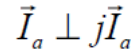
ADK'nın ilk 2 ölçüm takımı doğrusal bölgesi (HAD) üzerindedir. Bu yüzden:

$$X_s^{\text{doymamış}} = \frac{240 \text{ V} / \sqrt{3}}{2 \text{ A}} = \frac{120 \text{ V} / \sqrt{3}}{1 \text{ A}} = 69,28 \Omega / \text{faz} \quad \text{Anma akımı} = \frac{1975 \text{ VA}}{\sqrt{3} \cdot 380 \text{ V}} = 3,0 \text{ A} \text{ olup KDK'da bunu}$$

veren uyarım 0,3A'dır. ADK'da anma gerilimini veren uyarım da 0,4A'dır. Dolayısıyla

$$\text{kısa devre oranı} = \frac{0,4}{0,3} = 1,33 = kdo$$

EM-2-F-2012-CA-2



ELEKTRİK MAKİNALARI – 2 FİNAL SINAVI SORULARI
06 Haziran 2013 Süre: 90 dakika

1) Statoru **üçgen** bağlı 10 kutuplu bir asenkron jeneratörün tek faza indirgenmiş ve statora yansıtılmış eşdeğer devre parametreleri şöyledir:

$$r_1 = 3 \Omega, \quad r'_2 = 7 \Omega, \quad x_1 = 20 \Omega, \quad x'_2 = 20 \Omega, \quad g_c = 2,5 \times 10^{-3} S, \quad b_m = 9,0 \times 10^{-3} S$$

Statordan 50Hz'de fazlar arası 380V uygulanırken makina bir türbin yardımıyla 690 devir/dakika hızla döndürülüyor ve asenkron makinaya ait sürtünme kayıpları 370W oluyor. Bu çalışma için jeneratörün verimini ve brüt giriş torkunu yaklaşık eşdeğer devreyle hesaplayınız. **(27 puan)**

2) Statoru **üçgen** bağlı bir asenkron motora yüksüz çalışma ve kilitli rotor testleri uygulanıyor ve hat değerleri aşağıdaki gibi ölçülüyor.

Yüksüz çalışma testi: $V_{h0} = 4000 V$, $I_{h0} = 2,00 A$, $P_{h0} = 6000 W$

Kilitli rotor testi: $V_{hk} = 120 V$, $I_{hk} = 60,0 A$, $P_{hk} = 4500 W$

Ayrıca stator hatlarının iki ucu arasından, diğer hat ucu boştayken ölçülen direnç $r_{ölç} = 0,6 \Omega$ 'dur. Motorun tek faza indirgenmiş ve statora yansıtılmış eşdeğer devre parametrelerini yaklaşık olarak bulunuz. **(20 puan)**

3) 2. soruda verilen testler, hangi değerler anma değerinde olması tavsiye edilirse o anma değerlerinde yapılmıştır. Buna göre bütün ölçümleri per unit (p.u.) sistemine çeviriniz. **(13 puan)**

4) Üç fazlı **Y** bağlı, 450kVA'lık, 4000V'luk, silindirik ve sargılı rotorlu bir senkron alternatöre kısa devre ve açık devre testleri yapılıyor. Aşağıdaki hat değerleri ölçülüyor. Armatür sargı direncini ihmal ederek, tek faza indirgenmiş devrenin doymuş ve doymamış senkron reaktansları ile kısa devre oranını hesaplayınız. **(20 puan)**

Açık Devre Testi	
Uyartım akımı (A)	Armatür hat gerilimi (V)
1	1260
2	2520
3	3360
4	4000
5	4440

Kısa Devre Testi	
Uyartım akımı (A)	Armatür hat akımı (A)
1	14
2	28
3	42
4	56
5	70

5) Üç fazlı, **Y** bağlı silindirik rotorlu bir senkron motor, üç fazlı **Y** bağlı silindirik rotorlu bir senkron alternatör tarafından fazlar arası 400V uç geriliminde, 30A akımla ve 0,6 geri güç faktörüyle 50 Hz'de beslenmektedir. Alternatörün ve motorun senkron reaktansları sırasıyla $X_{sg} = 1 \Omega$ ve $X_{sm} = 4 \Omega$ 'dur. Motor 10 kutuplu olduğuna göre bu çalışma için motorun çıkış torkunu hesaplayınız. Armatür dirençleri ve sürtünme ihmal edilmektedir. **(20 puan)**

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

Yard. Doç. Dr. Ata SEVİNÇ

BAŞARILAR ...

ELEKTRİK MAKİNALARI – 2 FİNAL SINAVI CEVAP ANAHTARI
06 Haziran 2013

1. ve 2. soruların çözüm adımları burada gösterilmemiştir; öğrenciden istenen çözüm adımları ve gidiş yolu için benzer eski soruların cevap anahtarlarına bakınız.

1) $s = -0,15$ $r_y = -53,67 \Omega$ $V_1 = 380 V$

$I_2' = 6,417 A \rightarrow (4,732 + j 4,335 A) = 6,417 A \angle 42,5^\circ$

$P_{cu} = 1235 W$ $P_{Fe} = 1083 W$ $P_m = 6630 W$

$P_g = 7000 W$ $P_a = 4311 W$ $\eta = \%61,6$

$T = \frac{7000}{72,26} Nm = 96,87 Nm$

2) $V_{10} = 4000 V$ $I_{10} = 1,155 A$ $P_{10} = 2000 W$
 $V_{1k} = 120 V$ $I_{1k} = 34,64 A$ $P_{1k} = 1500 W$

$r_1 = 0,9 \Omega$ $g_c = 125 \mu S$ $Y_0 = 289 \mu S$ $b_m = 260 \mu S$

$r_1 + r_2' = 1,25 \Omega$ $r_2 = 0,35 \Omega$ $Z_k = 3,46 \Omega$

$x_1 + x_2' = 3,23 \Omega$ $x_1 = x_2' = 1,615 \Omega$

3) $V_{base}^h = 4000 V$ $I_{base}^h = 60 A$ $S_{base} = P_{base} = \sqrt{3} \times 4000 V \times 60 A$
 $Z_{base} = R_{base} = 4000 V / (60 A / \sqrt{3}) = 115,5 \Omega$ $= 415,69 kW$

$V_{ho} = 1,0 pu$ $I_{ho} = \frac{2 A}{60 A} = 0,0333 pu$ $P_{ho} = 0,0144 pu$

$V_{1k} = 0,03 pu$ $I_{1k} = 1,0 pu$ $P_{1k} = 0,0108 pu$

$r_{öla} = \frac{0,6}{115,5} = 0,0052 pu$ (tek faz tabanına göre)

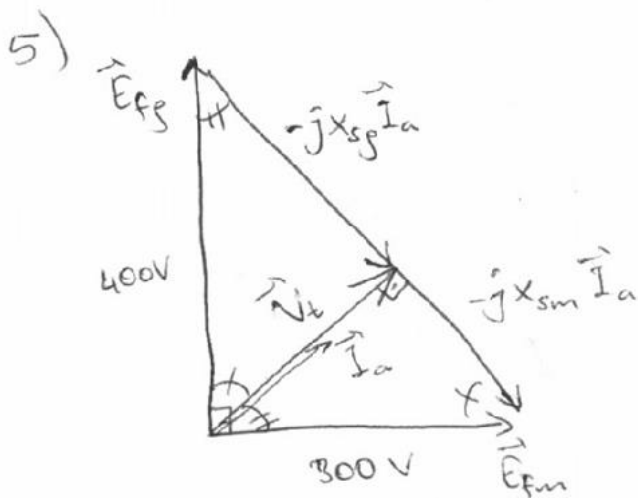
(base = taban)

$$4) X_{s(\text{dogmuse})} = \frac{4000\text{V}/\sqrt{3}}{56\text{A}} = 41,2\Omega$$

$$X_{s(\text{dogmanic})} = \frac{1260\text{V}/\sqrt{3}}{14\text{A}} = 52,0\Omega$$

$$I_a = \frac{450\text{kVA}}{\sqrt{3} \times 4\text{kV}} = 64,95\text{A} \rightarrow \text{KDK } I_a = \frac{64,95}{14} \times 1\text{A} = 4,64\text{A}$$

$$k_{do} = \frac{4\text{A}}{4,64\text{A}} = 0,862$$



$$(X_{sg} + X_{sm})I_a = 50\Omega I_a = \sqrt{300^2 + 400^2}\text{V} = 500\text{V}$$

$$I_a = 10\text{A}$$

$$\frac{300\text{V}}{500\text{V}} = \frac{V_t}{400\text{V}} \Rightarrow V_t = 240\text{V}$$

$$\frac{X_{sg}I_a}{400\text{V}} = \frac{400\text{V}}{500\text{V}}$$

$$X_{sg}I_a = \frac{1600\text{V}}{5} = 320\text{V} \rightarrow$$

$$X_{sg} = 32\Omega$$

$$X_{sm} = 50\Omega - 32\Omega = 18\Omega$$

$$P_i = \frac{400\text{V} \times 300\text{V}}{50\Omega} \cdot \frac{\sin \delta}{1} = 2400\text{W}$$

$$3 \text{ faz toplam } P_T = 3P_i = 7200\text{W}$$

ELEKTRİK MAKİNALARI – 2 BÜTÜNLEME SINAVI SORULARI
20 Haziran 2013 Süre: 90 dakika

1) Statoru **yıldız** bağlı 20 kutuplu bir asenkron makinanın tek faza indirgenmiş ve statora yansıtılmış eşdeğer devre parametreleri şöyledir:

$$r_1 = 6,4 \, \Omega, \quad r_2' = 5 \, \Omega, \quad x_1 = 10 \, \Omega, \quad x_2' = 10 \, \Omega, \quad g_c = 2 \times 10^{-3} \, S, \quad b_m = 8,0 \times 10^{-3} \, S$$

Statordan 50Hz'de fazlar arası 380V uygulanırken bir türbin yardımıyla 360 devir/dakika hızla döndürülerek jeneratör modunda çalıştırılıyor ve asenkron makinaaya ait sürtünme kayıpları 200W oluyor. Bu çalışma için jeneratörün verimini ve giriş torkunu yaklaşık eşdeğer devreyle hesaplayınız. (27 puan)

2) Parametreleri 1. sorudaki gibi olan asenkron makina, bilezikli ise ve stator/rotor sarım oranı 4 ise makinaayı motor modunda kullanırken kalkış torkunu maksimum yapmak için rotora yıldız bağlı olarak dışarıdan ilave edilmesi gereken faz başına direncin değerini yaklaşık eşdeğer devreye göre hesaplayınız. (16 puan)

$$s_{T \max} = \frac{r_2'}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + x_2')^2}}$$

3) Bir ac motor, 380V, 10A ve herhangi bir yükte çalışırken demir kaybı 200W, bakır kaybı ise 300W'tır. Başka bir yük altında 400V, 8A ile çalışırken demir ve bakır kayıplarını ayrı ayrı yaklaşık olarak bulunuz. (12 puan)

4) Üç fazlı, 50 Hz'lik, **yıldız** bağlı 2000V'luk, 40kVA'lık bir senkron alternatöre açık devre ve kısa devre testleri uygulanarak aşağıdaki ölçümler alınıyor. Makinanın faz başına senkron reaktansının doymuş ve doymamış değerleri ile kısa devre oranını bulunuz. Armatür direncini ihmal ediniz. (20 puan)

ADK	
Uyartım akımı (A)	Hat gerilimi (V)
1	400
2	800
8	1800
9	2000

KDK	
Uyartım akımı (A)	Hat akımı (A)
1	1,5
2	3,0
8	12,0
9	13,5

5) Üç fazlı, 50 Hz'lik, **yıldız** bağlı, silindirik rotorlu bir senkron motor, 400V fazlar arası gerilim ve sabit uyartım akımı altında maksimum güç değerine ulaştığında armatürden 10A akım çekmekte ve güç faktörü 0,8 geri olmaktadır. Bu senkron motorun senkron reaktansının ve uyartım geriliminin (E_{fm}) tek faz değerlerini bulunuz. Armatür direncini ihmal ediniz (25 puan).

$$\text{Tek faz için } P = \frac{E_1 E_2}{X} \sin \delta$$

BAŞARILAR ...

Yard. Doç. Dr. Ata SEVİNÇ

ELEKTRİK MAKİNALARI – 2 ARASINAV SORULARI

11 Nisan 2014 Süre:80 dakika

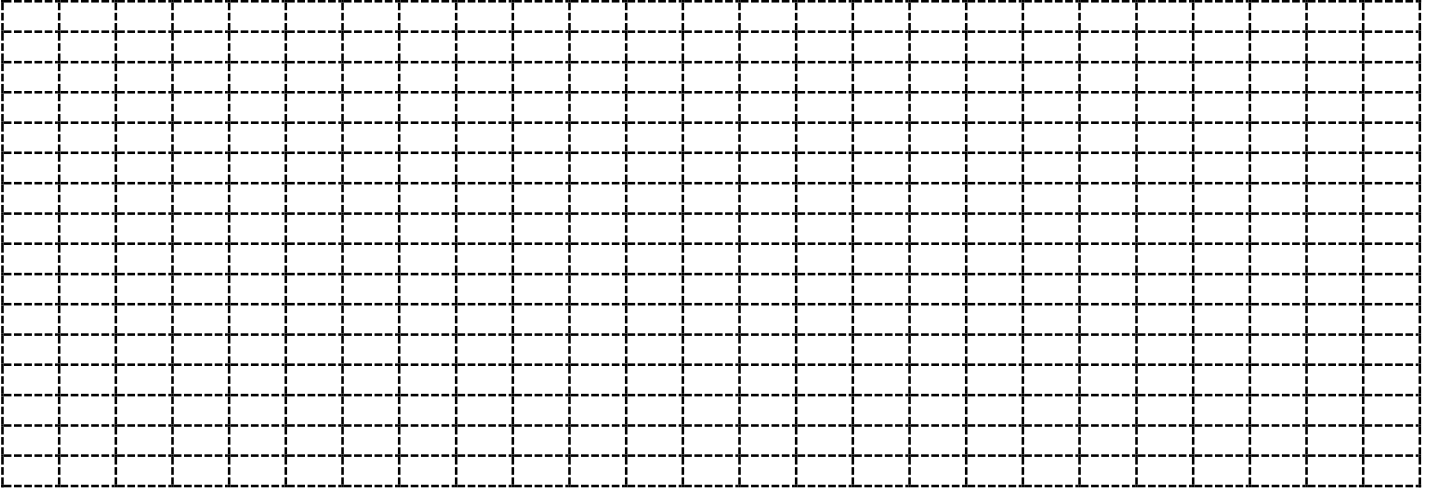
1) Üç fazlı, 50 Hz'lik, silindirik rotorlu (hava aralığı düzgün), hem stator hem rotor manyetik çekirdeklerinde $\mu \approx \infty$, sargıları oluklara şekildeki gibi 2 katlı olarak yerleştirilmiş bir AC makinanın statorunda 24 oluk olup her sargısında N=10 döngü bulunmaktadır.

a) Statora $i_A = I \cos \omega t$, $i_B = I \cos(\omega t - 120^\circ)$, $i_C = I \cos(\omega t - 240^\circ)$ akımları uygulanırsa, $\omega t = 180^\circ$ olan anda, bu akımların hava aralığında ürettiği bileşke mmk dağılımını çiziniz. (10 puan)

b) Her bir iletkende endüklenen gerilimler, 1., 3. ve 5. harmoniklerden oluşup, etkin değerleri sırasıyla $E_{1rms}/ilt = 6,2V$, $E_{3rms}/ilt = 3,1V$ ve $E_{5rms}/ilt = 1,5V$ olmaktadır. Stator tek faz gerilimini ve fazlararası gerilimi tüm harmoniklerin bileşke etkin değeri olarak bulunuz. Stator Y bağlıdır. (25 puan)

Sargı uzanım ve dağılım katsayı formülleri sırasıyla : $k_{un} = \left| \sin(n\rho/2) \right|$ $k_{dn} = \left| \frac{\sin(qn\gamma/2)}{q \sin(n\gamma/2)} \right|$

(Şekildeki 1 birimlik yüksekliği ne aldığınızı belirtiniz:)



A1	A2	-C1	-C2	B1	B2	-A3	-A4	C3	C4	-B3	-B4	A5	A6	-C5	-C6	B5	B6	-A7	-A8	C7	C8	-B7	-B8
A8	-C7	-C8	B7	B8	-A1	-A2	C1	C2	-B1	-B2	A3	A4	-C3	-C4	B3	B4	-A5	-A6	C5	C6	-B5	-B6	A7
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24

2) Üç fazlı 2 kutuplu bir AC makinada endüklenen gerilimin 5. harmoniğini sargı uzanım katsayısını sıfırlayarak yok edebilmek için makinanın en az kaç oluklu olması gerekir ve sargı uzanımı kaç oluk seçilmelidir? (10 puan)

3) Üç fazlı, 50 Hz'lik, 1350rpm'lik, 1000V'luk, statoru Y bağlı, bir asenkron motorun tek faza indirgenmiş ve statora yansıtılmış eşdeğer devre parametreleri şöyledir:

$$r_1 = 0,5\Omega, \quad r_2' = 0,8\Omega, \quad x_1 = x_2' = 4\Omega, \quad g_c = 1,2mS, \quad b_m = 5,6mS$$

Motor anma voltajında ve anma hızında çalıştırılırken sürtünme kaybı 2500W olmaktadır. Motorun verimini, çıkış torkunu, stator hat akımı büyüklüğünü ve giriş güç faktörünü hesaplayınız. Yaklaşık eşdeğer devre kullanınız. (35 puan)

4) Üç fazlı, 50 Hz'lik, 1000V'luk, statoru Y bağlı, bir asenkron motora yüksüz çalışma ve kilitli rotor testleri uygulanıyor. Statordan alınan hat ölçümleri şöyle bulunuyor:

$$\text{Yüksüz çalışma testi: } V_{h0} = 1000V, \quad I_{h0} = 0,45A, \quad P_{h0} = 420W$$

$$\text{Kilitli rotor testi: } V_{hk} = 32V, \quad I_{hk} = 8,7A, \quad P_{hk} = 150W$$

Ayrıca motorun stator hatlarından biri boştayken diğer iki hat ucu arasından sargı dirençleri $r_{ilç} = 0,28\Omega$ ölçülüyor. Motorun tek faza indirgenmiş ve statora yansıtılmış eşdeğer devre parametrelerini yaklaşık olarak hesaplayınız. (20 puan)

BAŞARILAR ...

Yard. Doç. Dr. Ata SEVİNÇ

ELEKTRİK MAKİNALARI – 2 FİNAL SINAVI SORULARI

03 Haziran 2014 Süre: 75 dakika

1) Üç fazlı, statoru Y bağlı, 50 Hz'lik 10 kutuplu bir asenkron jeneratör, 630 devir/dakika hızla ve 300W sürtünme kaybıyla döndürülürken, statoru fazlar arası 400V'luk şebekeye bağlıdır. Bu çalışmada jeneratörün giriş torkunu, verimini, statordan çıkış hat akımının büyüklüğünü ve çıkış güç faktörünü bulunuz. Yaklaşık eşdeğer devre kullanınız. Bu asenkron jeneratörün tek faza indirgenmiş ve statora yansıtılmış eşdeğer devre parametreleri şöyledir:

$$r_1 = 1 \, \Omega, \, r'_2 = 1,5 \, \Omega, \, x_1 = x'_2 = 4 \, \Omega, \, g_c = 1 \, mS, \, b_m = 3 \, mS \quad (35 \text{ puan})$$

2) Birinci sorudaki ile aynı eşdeğer devre parametrelerine sahip, statoru Y bağlı bilezikli bir asenkron motorun kalkış torkunu maksimum tork yapmak için rotora Y bağlı olarak ilâve edilecek faz başına direnci bulunuz. Stator/rotor sarım oranı 2'dir.

$$\text{Yardımcı formül: } s_{T \max} = \frac{r'_{2Top}}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + x'_2)^2}} \quad (15 \text{ puan})$$

3) 3 fazlı, yıldız bağlı, 380V'luk, 6910VA'lık, silindirik ve sargılı rotorlu bir senkron alternatöre açık devre ve kısa devre testleri uygulandığında aşağıdaki ölçümler alınmıştır. Armatür ölçümleri hat değerleridir. Alternatörün tek faza indirgenmiş senkron reaktansının doymuş ve doymamış değerleri ile kısa devre oranını bulunuz. Armatür direncini ihmal ediniz. (20 puan)

Açık Devre Testi	
Uyartım akımı (A)	Armatür hat gerilimi (V)
0,1	120
0,2	240
0,3	320
0,4	380
0,5	420

Kısa Devre Testi	
Uyartım akımı (A)	Armatür hat akımı (A)
0,1	3
0,2	6
0,3	9
0,4	12
0,5	15

4) Silindirik rotorlu ve Y bağlı iki senkron makinanın biri jeneratör olarak çalışıp, motor olarak çalışan diğerini besleyecek şekilde armatürlerinden birbirine bağlanmıştır. Faz başına senkron reaktansları jeneratör ve motor için sırasıyla faz başına $X_{sg} = 15 \, \Omega$ ve $X_{sm} = 25 \, \Omega$ 'dur. Uyartım akımları ise, jeneratör ve motorun tek faza indirgenmiş uyartım gerilimleri sırasıyla $E_{fg} = 250 \, V$ ve $E_{fm} = 150 \, V$ olacak şekilde ayarlanmış ve sabit tutulmaktadır. Uyartım akımları ve jeneratörün dönüş hızı sabit tutulurken, motorun mekanik yükü bu şartlardaki maksimum değerine getiriliyor. Bu durumda armatür akımı ve tek faz terminal voltajı nedir? Ayrıca motorun giriş güç faktörünü (ileri/geri yönüyle beraber) bulunuz. (30 puan)

$$\text{Yardımcı formül: Cosinüs teoremi } c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos \hat{C}$$

(Cosinüs teoremini kullanmadan trigonometri bilginizle de yapabilirsiniz. \hat{C} açısı üçgende c kenarını gören açıdır. a ve b de diğer kenarlardır.)

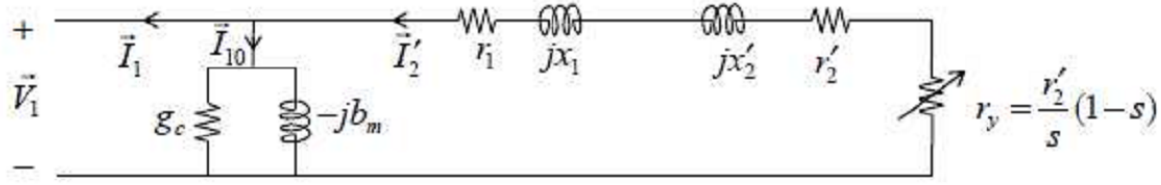
BAŞARILAR ...

Yard. Doç. Dr. Ata SEVİNÇ

ELEKTRİK MAKİNALARI – 2 FİNAL SINAVI CEVAP ANAHTARI

03 Haziran 2014

$$1) \quad n_s = \frac{120 \times 50}{10} \text{ rpm} = 600 \text{ rpm} \rightarrow s = \frac{600 - 630}{600} = -0,05 \rightarrow r_y = 1,5 \Omega \times \frac{1 - (-0,05)}{-0,05} = -31,5 \Omega$$



Y olduğundan, $V_1 = 400 \text{ V} / \sqrt{3} = 230,9 \text{ V}$ (vektör halinde açısını 0 alabiliriz)

$$\rightarrow \vec{I}'_2 = \frac{-230,9}{(1 + 1,5 - 31,5) + j(4 + 4)} \text{ A} = \frac{-230,9}{30,08 \angle 164,6^\circ} \text{ A} = 7,677 \text{ A} \angle 15,4^\circ = 7,40 + j2,04 \text{ A}$$

$$P_{Cu} = 3 \times (1 + 1,5) \times 7,677^2 \text{ W} = 442 \text{ W} \quad P_{Fe} = 3 \times 0,001 \times 230,9^2 \text{ W} = 160 \text{ W} \quad P_{sür} = 300 \text{ W}$$

Net giriş gücü $P_m = -3 \times (-31,5) \times 7,677^2 \text{ W} = 5569 \text{ W}$ (İlk eksi işareti gücü giriş yönünde tanımlar)

Brüt giriş gücü: $P_g = 5569 \text{ W} + 300 \text{ W} = 5869 \text{ W}$ (mekanik)

Çıkış gücü: $P_\phi = (5569 - 442 - 160) \text{ W} = 4967 \text{ W}$ (elektriksel)

$$\text{Verim} = \frac{4967}{5869} = \%84,6 \quad \omega_r = \frac{\pi}{30} \times 630 \text{ rad/s} = 65,97 \text{ rad/s}$$

$$\text{Brüt giriş torku: } T_g = \frac{5569 \text{ W}}{65,97 \text{ rad/s}} = 88,96 \text{ Nm}$$

$$\vec{I}_{10} = (0,001 - j0,003) \times 230,9 \angle 0^\circ = 0,23 - j0,69 \text{ A}$$

$$\vec{I}_1 = \vec{I}'_2 - \vec{I}_{10} = (7,40 + j2,04) - (0,23 - j0,69) \text{ A} = (7,17 + j2,73) \text{ A}$$

$$\vec{I}_1 = 7,673 \text{ A} \angle 20,9^\circ \text{ (Ölçülen stator hat akımı 7,637 A, stator Y bağlı olduğu için.)}$$

$$\text{Çıkış güç faktörü } \cos(0^\circ - 20,9^\circ) = 0,9344 \text{ ileri}$$

2) Kalkış anında hız sıfır olduğundan $s = 1$ olup, bunu $s_{T_{\max}}$ 'a eşitlersek:

$$s_{T_{\max}} = \frac{r'_{2Top}}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + x'_{2})^2}} = 1$$

Yaklaşık eşdeğer devrede $R_1 = r_1$ ve $X_1 = x_1$ alınabilir. Ayrıca $r'_{2Top} = r'_2 + r'_{2ilave}$ olduğu için:

$$r'_{2Top} = \sqrt{1^2 + (4 + 4)^2} \Omega = \sqrt{65} \Omega = 1,5 \Omega + r'_{2ilave} \rightarrow r'_{2ilave} = 6,56 \Omega = \left(\frac{N_s}{N_r} \right)^2 r_{2ilave} = 2^2 r_{2ilave}$$

$$\rightarrow r_{2ilave} = 1,64 \Omega$$

3) Armatür direnci ihmal edildiği için empedans yerine doğrudan reaktans yazılabilir:

$$X_s^{\text{doymamis}} = \frac{120 \text{ V} / \sqrt{3}}{3 \text{ A}} = \frac{240 \text{ V} / \sqrt{3}}{6 \text{ A}} = 23,1 \Omega \text{ (ADK'nın doğrusal herhangi bir yerinden)}$$

$$X_s^{\text{doymus}} = \frac{380 \text{ V} / \sqrt{3}}{12 \text{ A}} = 18,3 \Omega \text{ (ADK'nın anma geriliminden)}$$

$$\text{Anma hat akımı } \frac{6910 \text{ VA}}{\sqrt{3} \times 380 \text{ V}} = 10,50 \text{ A} \text{ (ADK'nın doğrusal herhangi bir yerinden)}$$

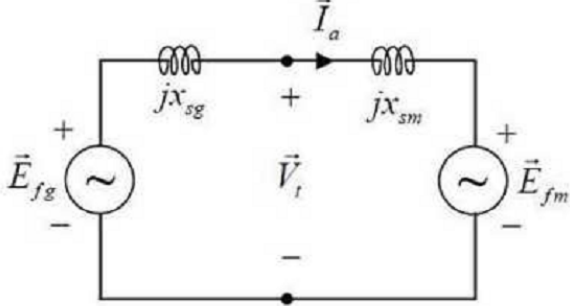
KDK'da anma akımını veren uyarım akımı tabloda açıkça olmadığı için KDK'nın doğrusallığından, veya en yakın iki komşu değer arasındaki orantıdan:

$$0,3 \text{ A} + \frac{0,4 - 0,3}{12 - 9} (10,5 - 9) \text{ A} = 0,35 \text{ A} \text{ bulunur.}$$

ADK'da anma gerilimini veren uyarıtım akımı da 0,4A olduğuna göre:

$$kdo = \frac{0,4A}{0,35A} = 1,14$$

4) Tek faz eşdeğer devresi



$$\vec{E}_{fg} - \vec{E}_{fm} = j(x_{sg} + x_{sm})\vec{I}_a$$

$$\vec{V}_t = \vec{E}_{fm} + jx_{sm}\vec{I}_a$$

$$\vec{I}_a \perp j\vec{I}_a$$

Maksimum güç durumunda $\vec{E}_{fg} \perp \vec{E}_{fm}$ olur.

Bunların birleştiği köşeden, $jx_{sm}\vec{I}_a$ ile $jx_{sg}\vec{I}_a$ 'nın ucuna eklendiği noktaya giden vektör de yukardaki formüller gereği \vec{V}_t 'dir. \vec{I}_a ise $jx_{sg}\vec{I}_a$ ve $jx_{sm}\vec{I}_a$ vektörlerinin doğrultusuna diktir (j ile çarpıldığı için). Buna göre vektör şema yandaki gibi olur.

$$(x_{sm} + x_{sg})I_a = (25 \Omega + 15 \Omega)I_a = \sqrt{150^2 + 250^2} V$$

$$40 \Omega \times I_a = 291,5 V$$

$$I_a = \frac{291,5 V}{40 \Omega} = \boxed{7,289 A = I_a}$$

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{250}{150} = 59,04^\circ \rightarrow \beta = 90^\circ - 59,04^\circ = 30,96^\circ$$

Cosinüs teoreminden

$$V_t^2 = E_{fm}^2 + (x_{sm} I_a)^2 - 2E_{fm}(x_{sm} I_a) \cos \alpha = (150 V)^2 + (25 \Omega \cdot 7,289 A)^2 - 2 \times 150 V \times (25 \Omega \cdot 7,289 A) \cos 59,04^\circ$$

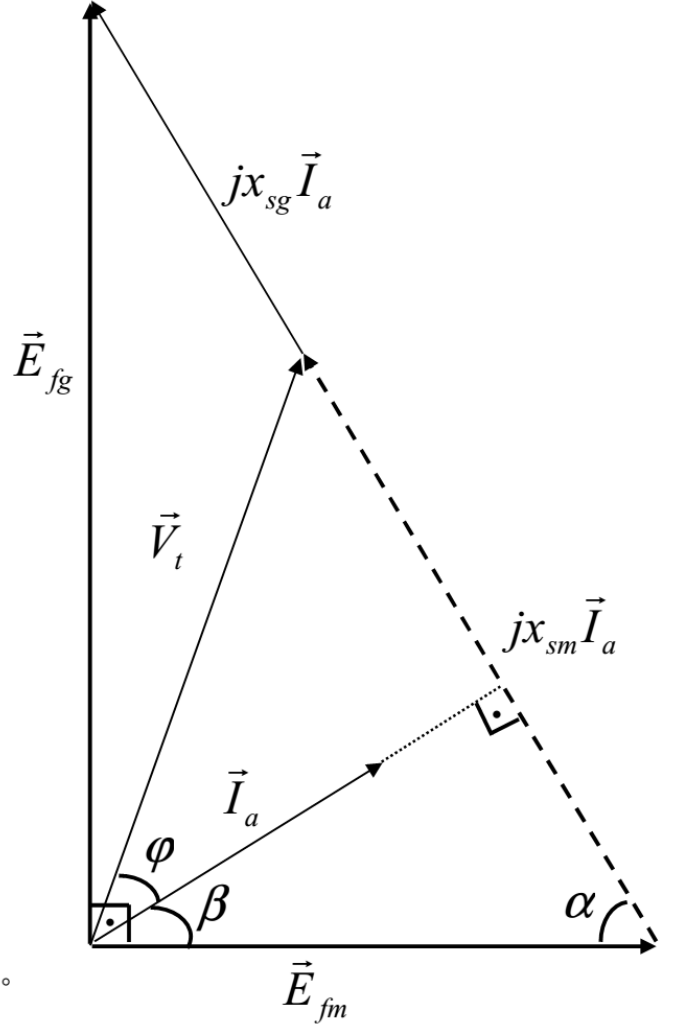
$$\boxed{V_t = 166,1 V}$$

Bir kenarı \vec{V}_t olan üçgenin \vec{E}_{fm} tabanı üzerindeki yüksekliğini iki ayrı yolla yazıp eşitleyelim:

$$V_t \sin(\beta + \varphi) = x_{sm} I_a \sin \alpha \rightarrow 166,1 \sin(30,96^\circ + \varphi) = 25 \times 7,289 \sin 59,04^\circ$$

$$\sin(30,96^\circ + \varphi) = 0,9409 \rightarrow \varphi = 39,24^\circ$$

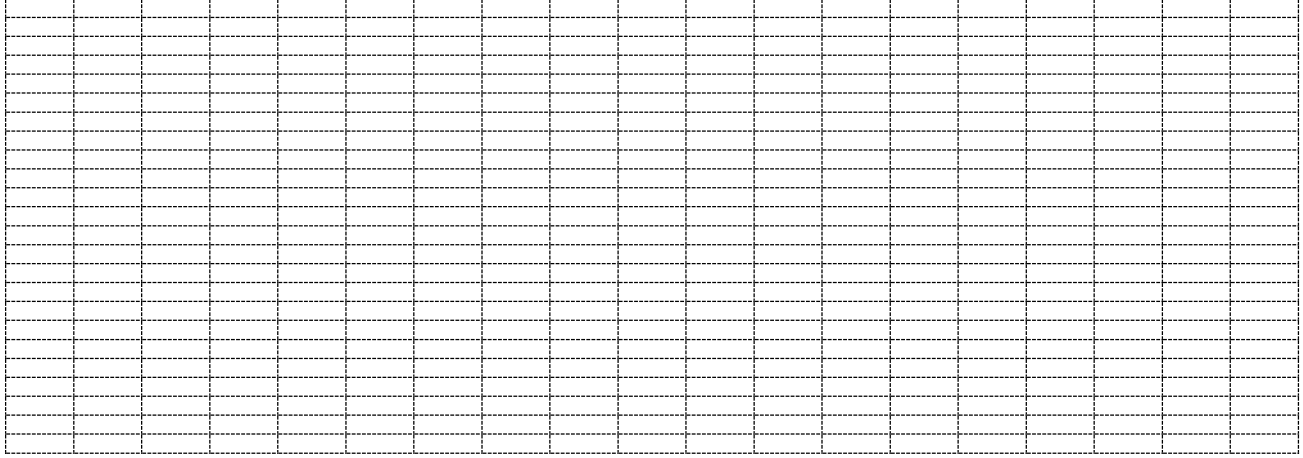
$$\text{Güç faktörü} \quad \boxed{\cos \varphi = 0,7745 \text{ geri}}$$



Öğrenci No		1	2	3	4	TOPLAM
Adı Soyadı						

ELEKTRİK MAKİNALARI – 2 ARASINAV SORULARI
15 Nisan 2015 Süre: 75 dakika

- 1) Aşağıdaki şekilde 1 birimlik yükseklik için aldığımız değeri yazınız: $\times \hat{I}$



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

Bir ac makina statorunda 18 oluk vardır ve Y bağlı sargıları oluklara çift katlı olarak şekildeki gibi yerleştirilmiştir. Stator ve rotor manyetik geçirgenliği $\mu \approx \infty$ ve hava aralığı düzgündür (silindirik). Her stator sargısı N = 10 sarımlıdır.

- a) Statordan $i_A = \hat{I} \cos \omega t$, $i_B = \hat{I} \cos(\omega t - 120^\circ)$, $i_C = \hat{I} \cos(\omega t - 240^\circ)$ biçiminde dengeli üç fazlı akım geçiyorsa göre hava aralığında stator tarafından üretilen mmk dağılımını $\omega t = 300^\circ$ anı için çiziniz.
- b) Bu sargılara uygulanan manyetik akı sonucu iletken başına endüklenen gerilimin temel bileşen, 3. ve 5. harmonik etkin değerleri sırasıyla $E_{1rms}/\text{iletken} = 6,2V$, $E_{3rms}/\text{iletken} = 2,8V$, $E_{5rms}/\text{iletken} = 1,9V$ olduğuna göre, faz-nötr ve fazlar arası gerilimlerin etkin değerlerini tüm harmoniklerin bileşkesi olarak bulunuz.

$$k_{un} = \left| \sin\left(\frac{n\rho}{2}\right) \right| \quad k_{dn} = \left| \frac{\sin(qn\gamma/2)}{q \sin(n\gamma/2)} \right| \quad (40 \text{ puan})$$

- 2) Üç fazlı, 50 Hz'lik Δ / Y bağlı bilezikli bir asenkron motora yüksüz çalışma ve kilitli rotor testleri yapılırca statordan hat ölçümleri aşağıdaki gibi alınır:

	Stator Hat Ölçümleri		
	Gerilim	Akım	Güç
Yüksüz çalışma testi	400 V	2,35 A	840 W
Kilitli rotor testi	20,2 V	30,0 A	900 W

Ayrıca statorun iki hat ucu arasından ölçülen direnç (üçüncü hat ucu boştayken) $0,40 \Omega$ olmaktadır. Son olarak da rotor sargı uçları açık devre ediliyor ve statordan fazlar arası 200 V uygulanınca rotordan da fazlar arası 115,5V ölçülüyor. Motorun tek faza indirgenmiş ve statora yansıtılmış eşdeğer devre parametrelerini yaklaşık olarak bulunuz. Ayrıca rotor sargısının kaçak endüktansı ile direncini de rotor tarafındaki değerleriyle bulunuz.

(25 puan)

- 3) Üç fazlı, 50 Hz'lik, 400V'luk, 1440 devir/dakika'lık, statoru **yıldız(Y)** bağlı bir asenkron motorun tek faza indirgenmiş ve statora yansıtılmış eşdeğer devre parametreleri şöyledir:

$$r_1 = 2\Omega \quad , \quad r'_2 = 1\Omega \quad , \quad x_1 = x'_2 = 6\Omega \quad , \quad g_c = 1,5mS \quad , \quad b_m = 5mS$$

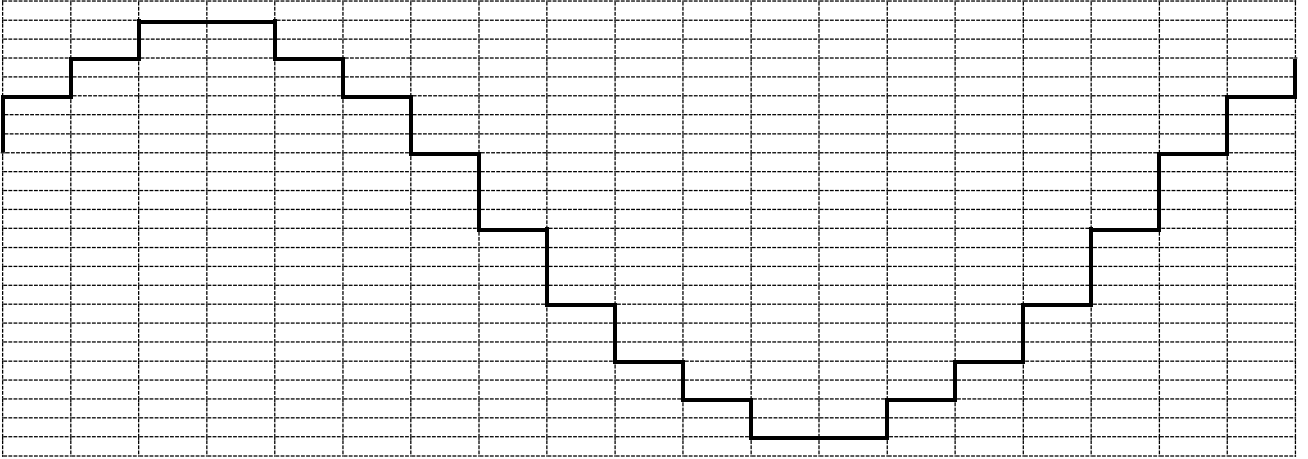
Bu motor anma değerleriyle çalışırken sürünme kaybı 350W'tır. Motorun verimini, çıkış torkunu, stator hat akımının büyüklüğünü ve giriş güç faktörünü bulunuz. (35 puan)

BAŞARILAR ...

Yard. Doç. Dr. Ata SEVİNÇ

ELEKTRİK MAKİNALARI – 2 ARASINAV CEVAP ANAHTARI
15 Nisan 2015

1) a) $i_A = i_C = \hat{I}/2$, $i_B = \hat{I}$ Aşağıdaki şekilde 1 birimlik yükseklik için alınan değer: $5 \times \hat{I}$



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

b) P = 2 kutuplu. $\gamma = (P/2) \cdot 360^\circ / 18 = 20^\circ$, sargı uzanımı (9 – 1) oluk $\rightarrow \rho = 8\gamma = 160^\circ$

$$k_{u1} = 0,9848, \quad k_{u3} = 0,8660, \quad k_{u5} = 0,6428$$

$$q = 3, \quad k_{d1} = 0,9598, \quad k_{u3} = 0,6667, \quad k_{u5} = 0,2176$$

$$N = 10$$

$$E_{1rms}/\text{sargı} = 2N(E_{1rms}/\text{iletken}) \cdot k_{u1} = 122,1V, \quad E_{3rms}/\text{sargı} = 48,5V, \quad E_{5rms}/\text{sargı} = 24,4V$$

$$N_{faz} = 6$$

$$E_{1rms}/\text{faz} = N_{faz}(E_{1rms}/\text{sargı}) \cdot k_{d1} = 702V, \quad E_{3rms}/\text{faz} = 194V, \quad E_{5rms}/\text{faz} = 32V$$

$$\text{Faz-nötr tüm harmonikler bileşkesi: } \sqrt{702^2 + 194^2 + 32^2} V = 729V$$

$$\text{Fazlar arası tüm harmonikler bileşkesi: } \sqrt{3} \cdot \sqrt{702^2 + 32^2} V = 1217V$$

2) Stator Δ olduğundan tek faz değerleri, $V_{10} = 400V$, $I_{10} = 1,357A$, $P_{10} = 280W$

$$V_{1k} = 20,2V, \quad I_{1k} = 17,32A, \quad P_{1k} = 300W, \quad r_1 = 0,60\Omega$$

$$Y_0 = 3,39 mS, \quad g_c = 1,75 mS, \quad b_m = 2,90 mS$$

$$Z_k = 1,166\Omega, \quad (r_1 + r'_2) = 1,00\Omega, \quad r'_2 = 0,40\Omega, \quad (x_1 + x'_2) = 0,60\Omega, \quad x_1 = x'_2 = 0,30\Omega$$

$$N_1/N_2 = 200/(115,5/\sqrt{3}) = 3, \quad r_2 = 0,044\Omega, \quad x_2 = 0,033\Omega, \quad L_{2k} = 106\mu H.$$

3) P = 4 kutuplu. $n_s = 1500 \text{ dev/dak}$, $s = 0,04$, $r_y = 24\Omega$, $\vec{V}_1 = 230,94V \angle 0^\circ$

$$\vec{I}'_2 = 7,816A \angle -23,96^\circ = (7,143 - j3,174)A$$

$$P_{Cu} = 550W, \quad P_{Fe} = 240W, \quad P_m = 4400W, \quad P_\phi = 4050W, \quad P_g = 5190W, \quad \text{Verim} = \%78,0$$

$$\omega_r = 150,8 \text{ rad/s}, \quad T_\phi = 26,85 Nm$$

$$\vec{I}_{10} = (0,346 - j1,155)A$$

$$\vec{I}_1 = (7,49 - j4,33)A = 8,65A \angle -30,03^\circ$$

Stator Δ bağlı olduğu için hat akımının büyüklüğü $I_h = 14,98 A$

Giriş güç faktörü $\cos(0^\circ - (-30,03^\circ)) = \cos 44,93^\circ = 0,8658$ geri (akımın açısı voltajın açısından geride)

ELEKTRİK MAKİNALARI – 2 FİNAL SINAVI SORULARI

04.6.2015 Süre: 80 dakika

1) Üç fazlı, statoru Δ bağlı, 50Hz'lik, 12 kutuplu bir asenkron jeneratörünün tek faza indirgenmiş ve statora yansıtılmış eşdeğer devre parametreleri

$$r_1 = 0,5 \Omega, \quad r'_2 = 0,8 \Omega, \quad x_1 = x'_2 = 3,6 \Omega, \quad g_c = 0,5 mS, \quad b_m = 2,5 mS$$

olup statoruna fazlar arası 220V uygulanırken 550 devir/dakika hızla dönmekte ve sürtünme kaybı 2240W olmaktadır. Yaklaşık eşdeğer devre kullanarak bu çalışma için jeneratörün verimini ve brüt giriş torkunu hesaplayınız. (25 puan)

2) Y/Y bağlı bilezikli bir asenkron motorun tek faza indirgenmiş ve statora yansıtılmış eşdeğer devre parametreleri

$$r_1 = 0,2 \Omega, \quad r'_2 = 0,3 \Omega, \quad x_1 = x'_2 = 5 \Omega, \quad g_c = 2 mS, \quad b_m = 4 mS$$

ve stator/rotor tek faz sarım oranı 3/1'dir.

a) Kalkış torkunu maksimum yapmak için rotor sargı uçlarına Y bağlı olarak faz başına ilave edilmesi gereken direnci hesaplayınız. (12 puan)

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

b) Rotor sargı uçlarına Y bağlı olarak faz başına ilave edilen direnç rotor sargı direncine eşit olsaydı kalkış torku ilavesiz durumun kaç katı olurdu? (3 puan)

3) Üç fazlı, 50 Hz'lik, 1000 devir/dakikalık, **yıldız** bağlı, 380V'luk, 13 kVA'lık silindirik rotorlu bir senkron alternatöre açık devre ve kısa devre testleri yapılıyor. Aşağıdaki sonuçlar (hat değerleri) elde ediliyor.

Açık Devre Testi	
Uyartım akımı (A)	Armatür hat gerilimi (V)
0,2	120
0,4	240
0,6	320
0,8	380
1,0	420

Kısa Devre Testi	
Uyartım akımı (A)	Armatür hat akımı (A)
0,2	5,7
0,4	11,4
0,6	17,1
0,8	22,8
1,0	28,5

a) Makinanın doymuş ve doymamış senkron reaktansları ile kısa devre oranını bulunuz (20 puan). (Armatür direnci ihmal ediliyor.)

b) Senkron reaktans birim değeri (*per unit* = p.u.) cinsinden ne kadardır? (5 puan)

4) Silindirik rotorlu bir senkron motorun senkron reaktansı 0,8 p.u. olup ideal bir kaynaktan anma geriliminde, anma yükünde birim güç faktörü ile çalışacak şekilde uyartım akımı ayarlanıp bu değerinde sabit tutuluyor. Bu gerilimlerde ve uyartım hakkında motorun verebileceği maksimum güç, p.u. olarak ne olur? (15 puan)

5) Çıkık kutuplu bir senkron alternatörün senkron reaktansı d ve q bileşenleri için sırasıyla 0,85 p.u. ve 0,65 p.u. olup armatür direnci ihmal ediliyor. Alternatör, anma voltajında, 0,8 geri güç faktörü ile anma gücünde çalışıyorsa uyartım gerilimi \vec{E}_f ne olur? (p.u. cinsinden vektörel olarak bulunuz) (20 puan)

$$\vec{E}_f' = \vec{V}_t + r_1 \vec{I}_a + jx_{sq} \vec{I}_a$$

$$E_f = E_f' + (x_{sd} - x_{sq}) I_d$$

ELEKTRİK MAKİNALARI – 2 FİNAL SINAVI CEVAP ANAHTARI
04.6.2015

1) $n_s = 500 \text{ dev/dak}$ $s = -0,1$ $r_y = -8,8 \Omega$ $\vec{V}_1 = 220V \angle 0^\circ$

$\vec{I}'_2 = 21,16A \angle 43,83^\circ = (15,265 + j14,655)A$ (Akımı motorda tanımladığımıza ters yönlü tanımlarsak böyledir. Motordakiyle aynı yönlü tanımlarsak bunun eksiyle çarpılmışı olurdu. Kutupsal için genlik aynı kalıp açısı 180° farkla $-136,17^\circ$ olurdu.)

$P_{Cu} = 1746 W$, $P_{Fe} = 73 W$, $P_m = 11,82 kW$, $P_\phi = 10,00 kW$ $P_g = 14,06 kW$ Verim = %71,1

$\omega_r = 57,6 \text{ rad/s}$, $T_\phi = 244 \text{ Nm}$.

2) a) Kalkışta $s = 1$ 'dir, yani $s_{T_{\max}} = 1$ isteniyor. Yaklaşık eşdeğer devre için $R_1 = r_1$, $X_1 = x_1$ alınır.

$$1 = \frac{r'_{2\text{Top}}}{\sqrt{0,2^2 + (5+5)^2} \Omega} \rightarrow r'_{2\text{Top}} = 10,0 \Omega \rightarrow r'_{2\text{ilave}} = 10,0 \Omega - 0,3 \Omega = 9,7 \Omega \rightarrow r_{2\text{ilave}} = \frac{9,7 \Omega}{3^2} = 1,078 \Omega$$

b) Kalkış torku r'_2 'den bağımsızdır. Dolayısıyla r_2 'den de $r_{2\text{ilave}}$ 'den de bağımsızdır. Değişmediği için tam 1 katı olurdu.

3) a) ADK'da 380V'u veren uyartım akımı KDK'da 22,8A verdiği için $X_s^{\text{doymuş}} = \frac{380V/\sqrt{3}}{22,8A} = 9,62 \Omega / \text{faz}$.

ADK'nın ilk 2 ölçüm takımı doğrusal bölgesi (HAD) üzerindedir. Bu yüzden:

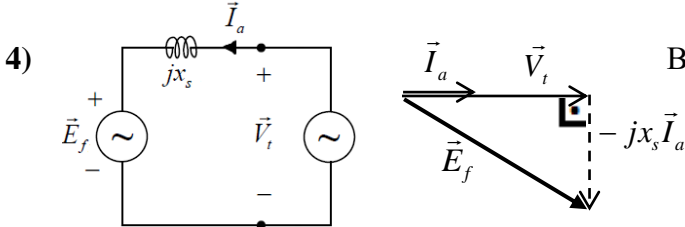
$$X_s^{\text{doymamis}} = \frac{240V/\sqrt{3}}{11,4A} = \frac{120V/\sqrt{3}}{5,7A} = 12,15 \Omega / \text{faz} \quad \text{Anma akımı} = \frac{13000VA}{\sqrt{3} \cdot 380V} = 19,75A \text{ olup KDK tablosunda}$$

bulamıyoruz. Ama KDK'nın doğrusallığından faydalanarak herhangi bir noktasından, meselâ 0,6A uyartım ile orantı kurarak $\frac{19,75}{17,1} \cdot 0,6A = 0,693A$ bulunur. ADK'da anma gerilimini veren uyartım da 0,8A'dır. Dolayısıyla

Kısa devre oranı $= 0,8/0,693 = 1,15 = k_{do}$

b) Tek fazda $V_{\text{taban}} = 380V/\sqrt{3} = 230,94V$, $I_{\text{taban}} = 19,75A \rightarrow Z_{\text{taban}} = 230,94V/19,75A = 11,11 \Omega$

$X_s^{\text{doymuş}} = 9,62/11,11 = 0,866 \text{ p.u.}$ $X_s^{\text{doymamis}} = 12,15/11,11 = 1,094 \text{ p.u.}$



Birim güç faktörlü çalışmanın vektör şeması yandadır.

$$\vec{E}_f = \vec{V}_t - jx_s \vec{I}_a \quad (\text{motordaki yön tanımıyla})$$

$$\vec{E}_f = 1 - j0,8 \cdot 1 \rightarrow E_f = 1,281 \text{ p.u.}$$

Anma gerilimi $V_t = 1 \text{ p.u.}$ ve anma gücünde akım da anma değerinde olur: $I_a = 1 \text{ p.u.}$ \vec{I}_a ile \vec{V}_t aynı yönlüdür. İlk açı keyfi olarak 0° alınmıştır. Uyartım akımı

sabitken E_f büyüklüğü sabittir. V_t büyüklüğü de zaten sabit. $P_{\max} = \frac{E_f V_t}{x_s} = \frac{1,281 \cdot 1}{0,8} = 1,60 \text{ p.u.}$

5) İlk açı keyfi olarak 0° alınarak anma gerilimi $\vec{V}_t = (1 \text{ p.u.}) \angle 0^\circ$, anma akımı ise $\vec{I}_a = (1 \text{ p.u.}) \angle -\cos^{-1} 0,8$

$$\vec{I}_a = (1 \text{ p.u.}) \angle -36,8^\circ = (0,8 - j0,6) \text{ p.u.} \quad \text{Jeneratördeki yön tanımıyla } \vec{E}'_f = \vec{V}_t + jx_{sq} \vec{I}_a \quad (\text{direnc ihmal}).$$

$$\vec{E}'_f = 1 + j0 + j0,65 \cdot (0,8 - j0,6) = 1,39 + j0,52 = 1,484 \text{ pu} \angle 20,5^\circ$$

\vec{I}_a 'nın \vec{I}_q bileşeni ve \vec{E}_f , \vec{E}'_f ile aynı yönlü olup,

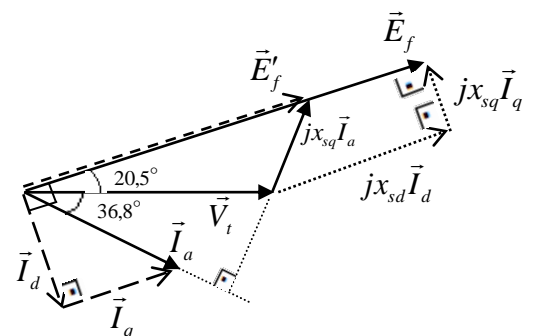
\vec{I}_d bileşeni bundan 90 geridedir:

$$I_d = I_a \sin(36,8^\circ + 20,5^\circ) = 1,0 \text{ p.u.} \times 0,8415 = 0,8415 \text{ p.u.}$$

$$\vec{E}_f \text{ 'nin büyüklüğü } E_f = E'_f + (x_{sd} - x_{sq}) I_d$$

$$E_f = 1,484 + (0,85 - 0,65) \cdot 0,8415 = 1,652 \text{ p.u.}$$

Yani $\vec{E}_f = 1,652 \text{ p.u.} \angle 20,5^\circ$



ELEKTRİK MAKİNALARI – 2 BÜTÜNLEME SINAVI SORULARI

25 Haziran 2015 Süre: 75 dakika

1) Tek faza indirgenmiş ve statora yansıtılmış eşdeğer devre parametreleri

$$r_1 = 0,83 \, \Omega, \quad r_2' = 1,24 \, \Omega, \quad x_1 = x_2' = 7,7 \, \Omega, \quad g_c = 0,0038 \, S, \quad b_m = 0,0056 \, S$$

olan üç fazlı, statoru Y bağlı, 6 kutuplu bir asenkron jeneratörün statorundan fazlar arası 400V (50Hz) uygulanırken 1080 rpm hızla dönmesi sağlanmaktadır. Bu durumda jeneratörün kendisinden kaynaklanan sürtünme kaybı ise 450W olmaktadır. Jeneratörün verimini ve giriş torkunu hesaplayınız. Yaklaşık eşdeğer devre kullanınız. **(25 puan)**

2) 1. sorudaki asenkron makina, stator/rotor sarım oranı 2 olan, rotoru da Y bağlı bilezikli bir makine olsun. 50Hz ile motor olarak çalıştırılırken maksimum torku 300 rpm’de vermesi için rotor terminallerine dışarıdan ilave edilmesi gereken faz başına direnci bulunuz. **(15 puan)**

Yardımcı formül:
$$S_{T_{\max}} \approx \frac{r'_{2Top}}{\sqrt{r_1^2 + (x_1 + x'_2)^2}}$$

3) 3 fazlı, üçgen bağlı, 220V’luk, 2,4kVA’lık, sargılı ve silindirik rotorlu bir senkron alternatöre açık devre ve kısa devre testleri uygulandığında aşağıdaki ölçümler alınmıştır. Armatür ölçümleri hat değerleridir. Alternatörün tek faza indirgenmiş senkron reaktansının doymuş ve doymamış değerleri ile kısa devre oranını bulunuz. Armatür direncini ihmal ediniz. **(20 puan)**

Açık Devre Testi	
Uyartım akımı (A)	Armatür hat gerilimi (V)
0,30	120
0,60	240
0,90	320
1,20	380
1,50	420

Kısa Devre Testi	
Uyartım akımı (A)	Armatür hat akımı (A)
0,30	2
0,60	4
0,90	6
1,05	7
1,20	8

4) Silindirik ve sargılı rotorlu bir senkron motorun senkron reaktansı 0,6 p.u olup, uyartım akımı anma geriliminde birim güç faktörlü çalışacak şekilde ayarlanıp bu değerinde tutuluyor. Kaynak ideal olup, bu şartlarda motorun verebileceği maksimum güç p.u. olarak ne kadardır? (Armatür direnci ihmal ediliyor.) **(15 puan)**

5) Çıkık kutuplu bir senkron alternatörün senkron reaktansı d ve q bileşenleri için sırasıyla 0,75 p.u. ve 0,45 p.u. olup armatür direnci ihmal ediliyor. Alternatör, anma voltajında, 0,8 geri güç faktörü ile anma gücünde çalışıyorsa uyartım gerilimi \vec{E}_f ne olur? (p.u. cinsinden vektörel olarak bulunuz.) **(25 puan)**

Yardımcı formüller:
$$\vec{E}'_f = \vec{V}_t + r_1 \vec{I}_a + jx_{sq} \vec{I}_a$$

$$E_f = E'_f + (x_{sd} - x_{sq}) \vec{I}_d$$

BAŞARILAR ...

Yard. Doç. Dr. Ata SEVİNÇ