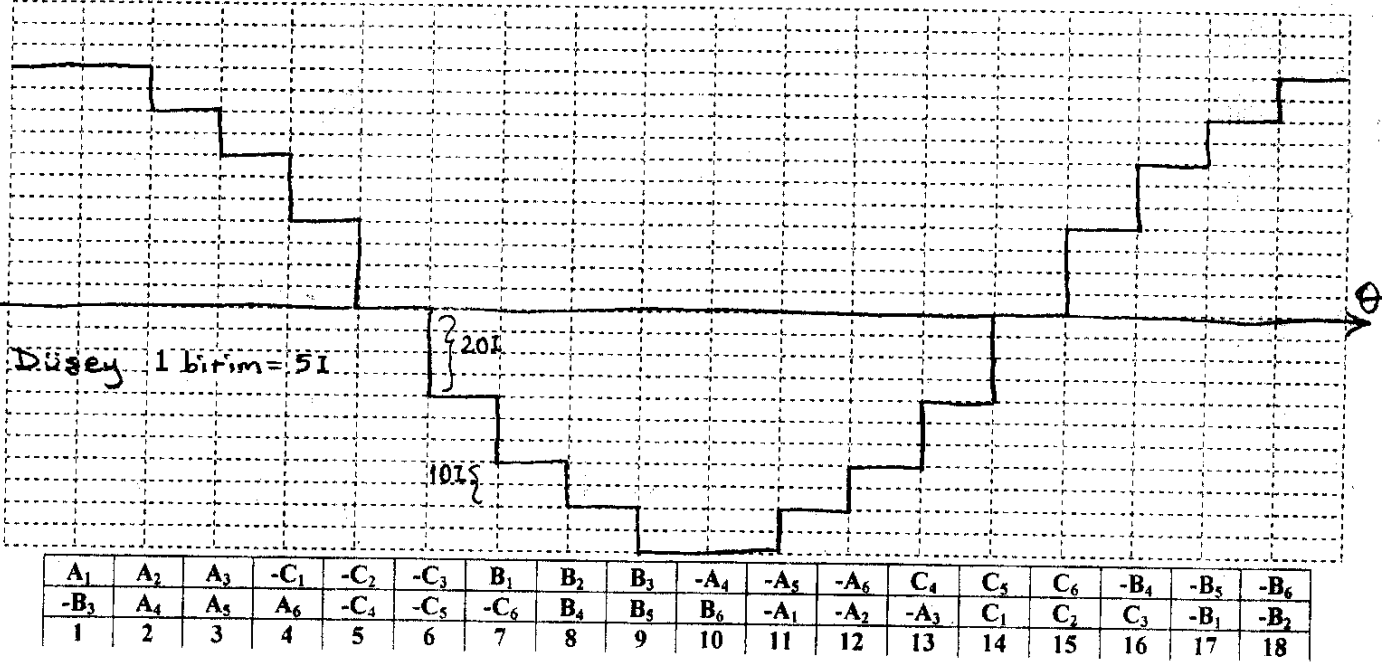


Öğrenci No:		1	2	3		TOPLAM
Adı Soyadı:						

**ELEKTRİK MAKİNALARI – 2 ARASINAV SORULARI**  
**29 Nisan 2010    Süre: 75 dakika**

Çizim cevap anahtarına aittir.

1)



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 çizin. (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 statordan aşağıdaki değerleri ölçülüyor:

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

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:

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

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

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

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

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

Sargı uzunluğu  $= 11-1 = 10$  oluk ( $-A_1$  ve  $A_1$  'den)

Yarı  $\phi = 10^\circ = 200^\circ \text{ elk.}$

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)

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

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

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

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

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

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

$E_{\text{rms}} / \text{sargı} = 2Nk_{u1} E_{\text{rms}} / \text{ilt}$

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

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

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

Faz başına sargı sayısı  $= N_{\text{faz}} = \frac{18 \text{ oluk}}{3 \text{ faz}} \times \frac{1}{2 \text{ oluk}} \times 2 \text{ kat} = 6$  (Zaten her fazda 1'den 6'ya kadar numaralı sargı var.)

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

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

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

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

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

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

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

$$V_{10} = 1000V$$

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

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

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

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

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

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

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

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

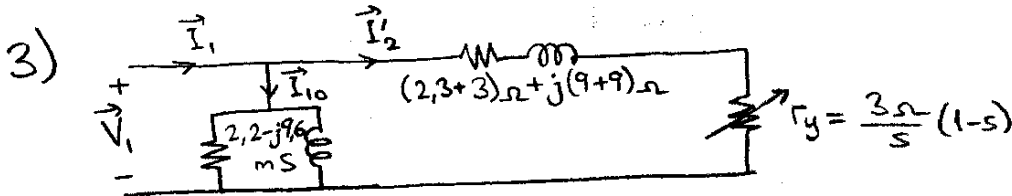
$$Z_k = 41,5V/11,4A = 3,64\Omega$$

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

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

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

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



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

$$P = \frac{6000}{n_s \cdot dk/dev}$$

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

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

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

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

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

$$\text{Demek ki } P=8 \text{ ve } s=0,1 \rightarrow r_y = \frac{3\Omega}{0,1} (1-0,1) = 2,7\Omega$$

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

$$\vec{I}_2' = \frac{800 \angle 0^\circ}{(5,3+2,7)+j18} A = \frac{800}{36,98 \angle 29^\circ} A = 21,6A \angle -29^\circ = (18,9-j10,5)A$$

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

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

$$P_m = 3 \times 2,7 \times 21,6^2 W = 37914W$$

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

$$P_{giriş} = 37914W + 7442W + 4224W = 49580W \quad \text{Verim} = \frac{36844}{49580} = \%74 = \eta$$

$$\omega_r = 2\pi \times 675/60 \text{ rad/s} = 70,7 \text{ rad/s} \rightarrow T_{gıkış} = \frac{36844}{70,7} \text{ Nm} = 521 \text{ Nm} = T_{gıkış}$$

$$\vec{I}_{10} = (2,2-j9,6) \times 800 \angle 0^\circ \times 10^{-3} A = 1,76-j7,68 A \quad \vec{I}_1 = (18,9-j10,5) + (1,76-j7,68) A$$

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

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

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

## 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 uclarındaki voltaj fazlararası 1160V oluyor. Maksimum brüt torku ve bu durumdaki armatür hat akımını bulunuz (25 puan).

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

BAŞARILAR ...

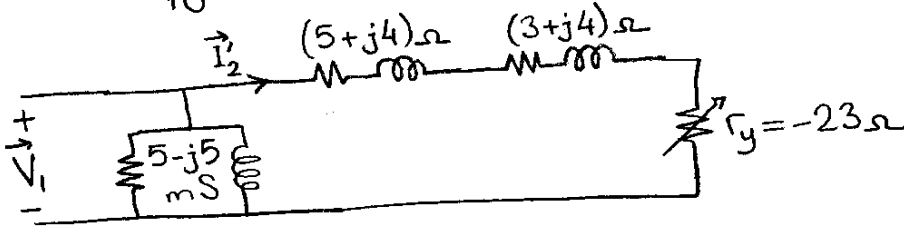
Yard. Doç. Dr. Ata SEVİNÇ

# ELEKTRİK MAKİNALARI-2 FİNAL 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  $\rightarrow V_1 = 340V$

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

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

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

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

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

$P_{çıkış} = P_m - P_{cu} - P_{Fe} = (27600 - 9600 - 1734) W = 16266 W$  (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 Torku =  $\frac{29050}{72,26} \text{ Nm} = \boxed{T_{giriş} = 402 \text{ Nm}}$

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

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

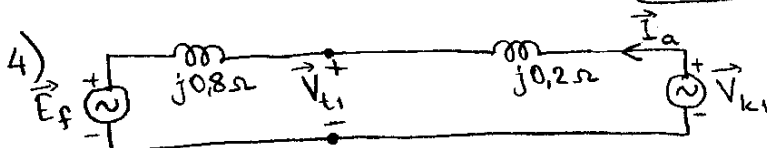
$9,43 \Omega = 3 \Omega + r_{2ilave}' \rightarrow r_{2ilave}' = 6,43 \Omega \rightarrow r_{2ilave} = \frac{6,43 \Omega}{4^2}$

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

3)  $r_1 = 10 \Omega / 2 = 5 \Omega$   $I_{hanna} = 34700 VA / (\sqrt{3} \times 1000 V) = 20 A$  : anna hat akımı

$Z_s(\text{doymuş}) = \frac{1000 V / \sqrt{3}}{28 A} = 20,62 \Omega \rightarrow X_s(\text{doymuş}) = \sqrt{20,62^2 - 5^2} \Omega = 20 \Omega$   
 empedans  $\rightarrow$  reaktans  
 $Z_s(\text{doymamış}) = \frac{360 V / \sqrt{3}}{8 A} = \frac{180 V / \sqrt{3}}{4 A} = 25,98 \Omega \rightarrow X_s(\text{doymamış}) = \sqrt{25,98^2 - 5^2} \Omega = 25,5 \Omega$

Kısa devre oranı =  $7 A / 5 A = \boxed{1,4 = k.d.o}$



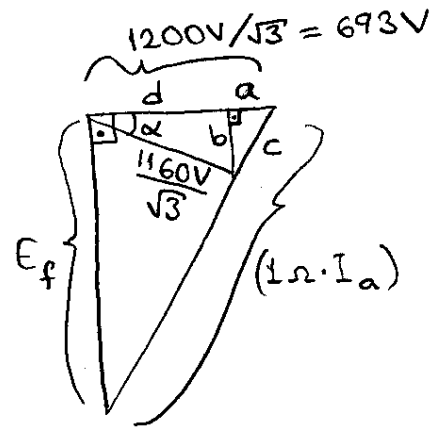
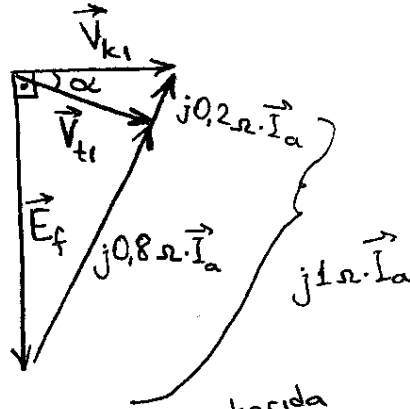
$V_{k1} = 1200 V / \sqrt{3} = 693 V$

$V_{t1} = 1160 V / \sqrt{3} = 670 V$   $\rightarrow$  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, yukarıda sağdaki benzer üçgen problemidir:

$$\frac{c}{1\Omega \cdot I_a} = \frac{0,2\Omega \cdot I_a}{1\Omega \cdot I_a} = \frac{1}{5} = \frac{a}{693V} \rightarrow a = 138,6V \quad d = 693V - 138,6V = 554,3V$$

$$\cos \alpha = \frac{d}{1160V/\sqrt{3}} = \frac{d}{670V} = 0,8276 \rightarrow \sin \alpha = \sqrt{1 - 0,8276^2} = 0,5613$$

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.

$$P_1 = \frac{693V \times 670V}{0,2\Omega} \times 0,5613 = 1,3MW$$

$$2. \text{ yol: } \frac{b}{670V} = \sin \alpha = 0,5613 \rightarrow b = 376V$$

$$\frac{b}{E_f} = \frac{1}{5} \rightarrow E_f = 5 \times 376V = 1880V$$

$\sin \delta$  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.

$$P_1 = \frac{693V \times 1880V}{1\Omega} \times 1 = 1,3MW \rightarrow \text{aynı sonuç bulunur.}$$

$$\text{Toplam güç} = 3P_1 = 3,9MW$$

$$\omega_r = \frac{2\pi \times 1000}{60} \text{ rad/s} = 104,7 \text{ rad/s}$$

$$\text{Brüt tork} = \frac{3,9 \times 10^6 W}{104,7 \text{ rad/s}} = \underline{\underline{37308 \text{ Nm}}} \rightarrow \text{maksimum değer.}$$

$$\text{Bu çalışmada } (1\Omega \cdot I_a) = \sqrt{E_f^2 + V_{k1}^2} = \sqrt{1880^2 + 690^2} V = 2003V$$

$$I_a = 2003V/1\Omega = \underline{\underline{2003A = I_a}} \rightarrow \text{hem hat, hem faz akımı (Y bağlantıdan dolayı)}$$

## 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)

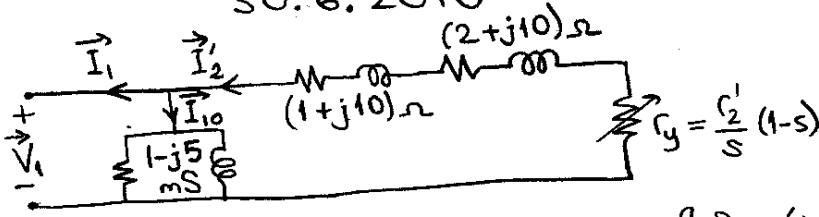
BAŞARILAR ...

Yard. Doç. Dr. Ata SEVİNÇ

# ELEKTRİK MAKİNALARI-2 BÜTÜNLEME CEVAP ANAHTARI

30.6.2010

1)



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

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

$$s = \frac{1000 - 1100}{1000} = -0,1 \rightarrow r_y = \frac{2\Omega}{-0,1} (1 + 0,1) = -22\Omega = r_y$$

$$V_1 = 1000V/\sqrt{3} = 577V \rightarrow \vec{V}_1 = 577V \angle 0^\circ \rightarrow \text{keyfi}$$

$$\vec{I}'_2 = \frac{-577 \angle 0^\circ}{(1 + 2 - 22) + j(10 + 10)} A = \frac{-577}{27,6 \angle 133,5^\circ} A = \underbrace{20,93A \angle 46,5^\circ}_{I'_2} = \vec{I}'_2 = (14,4 + j15,2)A$$

$$P_{cu} = 3(1+2) \times 20,93^2 W = 3942 W$$

$$P_{Fe} = 3 \times 0,001 \times 577^2 W = 1000 W$$

$$P_m = -3 \times (-22) \times 20,93^2 W = 28909 W$$

$$P_{sıkış} = 28909 W - 3942 W - 1000 W$$

$$P_{sıkış} = 23967 W$$

$$P_{giris} = 28909 W + 2000 W = 30909 W \rightarrow \text{brüt giriş gücü}$$

$$\text{Verim} = \eta = \frac{23967}{30909} = \boxed{\%77,5 = \eta}$$

$$\omega_r = 2\pi \times \frac{1100}{60} \text{ rad/s} = 115,2 \text{ rad/s}$$

$$\text{Brüt giriş torku} = T_{giris} = \frac{30909}{115,2} \text{ Nm} = \boxed{268,3 \text{ Nm} = T_{giris}}$$

$$\vec{I}_{10} = (0,001 - j0,005) \times 577 \angle 0^\circ = (0,577 - j2,887) A$$

$$\vec{I}_1 = \vec{I}'_2 - \vec{I}_{10} = (14,4 + j15,2 - 0,577 + j2,887) A = (13,84 + j18,06) A$$

$$\vec{I}_1 = 22,75 A \angle 52,5^\circ \rightarrow \text{ölçülen hat akımı} = \boxed{I_h = 22,75 A}$$

$$\cos \varphi_1 = \cos(0^\circ - 52,5^\circ) = \boxed{\text{güç faktörü} = 0,608 \text{ ileri}}$$

(şekildeki  $\vec{I}_1$  yön tanımına göre akım ileride)

2) Kalkışta  $s=1 = s_{Tmax}$

$$r_{2ilave} = 1\Omega \rightarrow r'_{2ilave} = \left(\frac{2}{1}\right)^2 \times 1\Omega$$

$$r'_{2ilave} = 4\Omega \rightarrow r'_{2top} = 9\Omega + 4\Omega = 13\Omega$$

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)



$$3) r_1 = \frac{3}{2} 10 \Omega = 15 \Omega$$

$$Z_s (\text{doymamış}) = \frac{72V}{1,04A/\sqrt{3}} = \frac{144V}{2,08A/\sqrt{3}} = 119,9 \Omega \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \text{senkron empedans}$$

$$Z_s (\text{doymuş}) = \frac{400V}{7,28A/\sqrt{3}} = 95,2 \Omega$$

$$X_s (\text{doymamış}) = \sqrt{119,9^2 - 15^2} \Omega = 119,0 \Omega \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \text{senkron reaktans}$$

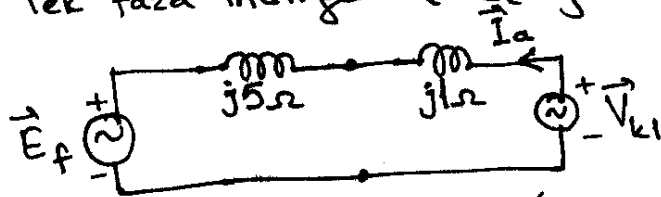
$$X_s (\text{doymuş}) = \sqrt{95,2^2 - 15^2} \Omega = 94,0 \Omega$$

$$\text{Ama armatör hat akımı} = \frac{3,6 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 400V} = 5,20 \text{ A} \rightarrow \text{KDK'da } 2,5 \text{ A uyarım için görülür.}$$

ADK'da 400V ise 3,5A uyarımda görülür.

$$\text{Kısa devre oranı} = k_{do} = \frac{3,5}{2,5} = 1,4 = k_{do}$$

4) Tek faz indirgenmiş eşdeğer devre



$$E_f = 270V \text{ sabit}$$

$$V_{k1} = \frac{400V}{\sqrt{3}} = 231V : \text{sabit}$$

$$\text{Tek faz maksimum gücü } (\delta = 90^\circ \text{ için}) : P_1 = \frac{231V \times 270V}{(5+1)\Omega} = 10,4 \text{ kW}$$

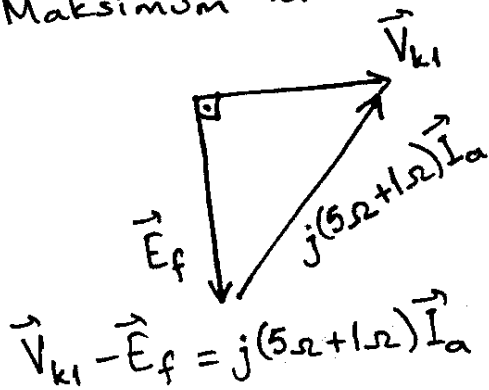
$$\text{Üç faz için ise } P_T = 3 \times 10,4 \text{ kW} = 31,8 \text{ kW}$$

$$n_r = 1500 \text{ dev/dk} \rightarrow \omega_r = 2\pi 1500/60 \text{ rad/s} = 157,1 \text{ rad/s}$$

Maksimum brüt sıkış torku (elektromekanik tork):

$$T_m = \frac{31180}{157,1} \text{ Nm} = 198,5 \text{ Nm} = T_m$$

Maksimum tork durumunda  $\vec{E}_f \perp \vec{V}_{k1}$



$$(5\Omega + 1\Omega)I_a = \sqrt{231^2 + 270^2} V$$

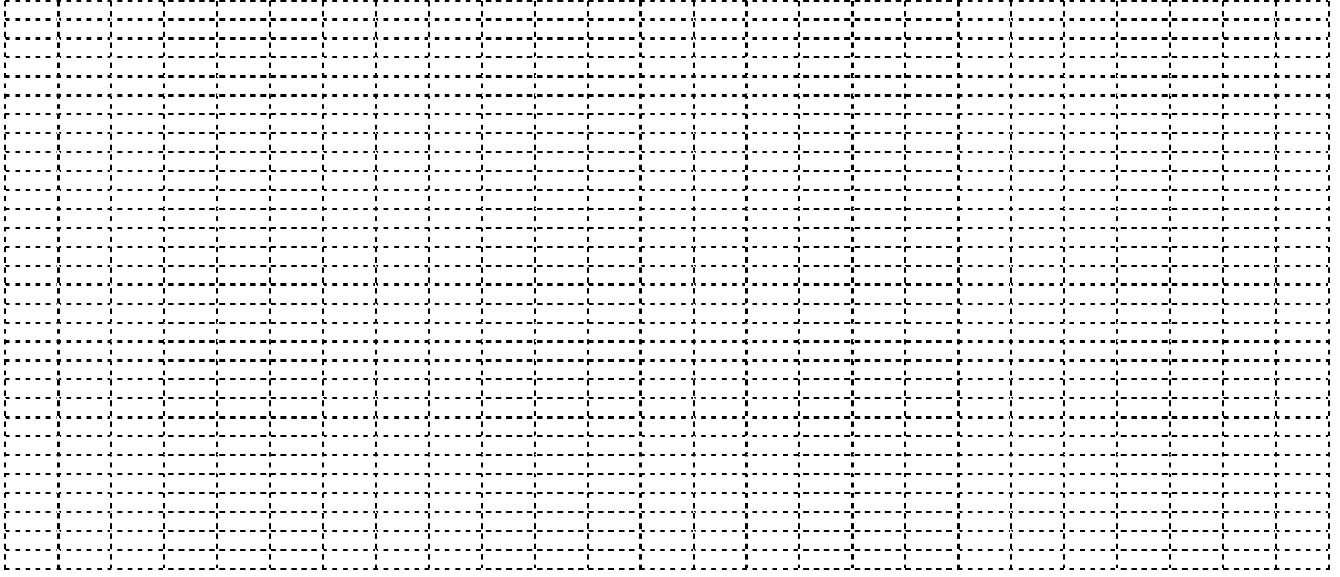
$$6\Omega \cdot I_a = 355,3 V$$

$$I_a = 59,2 \text{ A} \rightarrow \text{Hem tek faz hem hat akımı}$$

Öğrenci No		1	2	3	4	TOPLAM
Adı Soyadı						

**ELEKTRİK MAKİNALARI – 2 ARASINAV SORULARI**  
**28 Nisan 2011    Süre: 60 dakika**

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



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  $\omega t = 120^\circ$  anı için çiziniz.

b) Bu sargılara uygulanan manyetik akı sonucu iletken başına endüklenen gerilimin temel bileşen, 3. ve 5. harmonik etkin değerleri sırasıyla  $E_{1rms}/iletken = 3,0V$  ,  $E_{3rms}/iletken = 1,8V$  ,  $E_{5rms}/iletken = 1,2V$  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 ac makinalarda, sargılarda endüklenen gerilimin 5. harmoniğini sargı uzanım katsayısıyla yok etmek için mümkün olan en küçük sayılardan oluşan toplam oluk sayısı, kutup sayısı ve oluk sayısı cinsinden sargı uzanımı takımını bulunuz. Fakat sargı uzanımını elektriksel 90°'den küçük veya 270°'den büyük seçmeyiniz. (15 puan)

3) Üç fazlı, 50 Hz'lik  $\Delta / Y$  bağlı bilezikli bir asenkron motora yüksüz çalışma ve kilitli rotor testleri yapılırca statordan hat ölçümleri aşağıdaki gibi alınıyor:

	Stator Hat Ölçümleri		
	Gerilim	Akım	Güç
Yüksüz çalışma testi	1000 V	1,20 A	1800 W
Kilitli rotor testi	46,2 V	40,0 A	2100 W

Ayrıca statorun iki hat ucu arasından ölçülen direnç (üçüncü hat ucu boştayken) 0,44  $\Omega$  olmaktadır. Son olarak da rotor sargı uçları açık devre ediliyor ve statordan fazlar arası 220 V uygulanınca rotordan da fazlar arası 190V 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.

(30 puan)

4) Etiketinde 50 Hz'lik, 350 devir/dakika'lık olduğu yazan bir asenkron motorun kutup sayısı en muhtemelen kaçtır? Anma değerlerinde çalışırken kayması nedir? Bu motorun 60 Hz'deki senkron hızı nedir? (15 puan)

**BAŞARILAR ...**

**Yard. Doç. Dr. Ata SEVİNÇ**

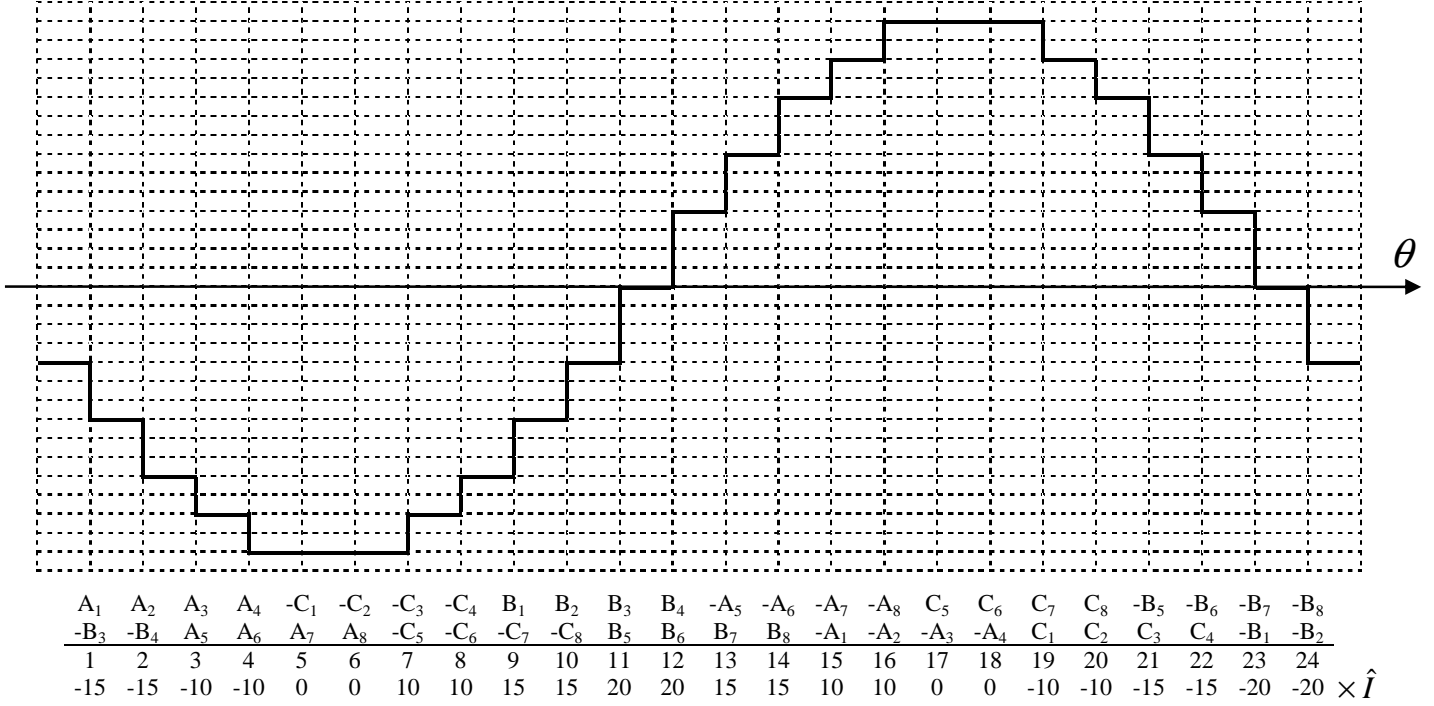
# ELEKTRİK MAKİNALARI – 2 ARASINAV CEVAP ANAHTARI

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 ( $\hat{I}$ 'nin kaç katı olduğu) aşağıda oluk numaralarının altında gösterilmiştir.

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



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

A<sub>1</sub> : 1. olukta, -A<sub>1</sub>: 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

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

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

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

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

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

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

$$E_{5\text{rms}}/\text{faz} = 8 \times 0,2053 \times 6,21V = 10,20V$$

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

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

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

En küçük  $\rho$  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  $180^\circ$  yerine kutup uzanımını, yani toplam oluk sayısının ( $N_o$  diyelim) kutup sayısına ( $P$ ) oranını,  $\rho$  yerine de oluk sayısı cinsinden sargı uzanımını ( $\rho_o$  diyelim) yazarız:

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

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

$N_o$  aynı zamanda faz sayısının da (3'ün) tam katı olmalıdır. Kutup sayısının da tam katı olduğundan çift sayı olması gerekir.  $\rho_o$  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  $\Delta$  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 ( $\Delta$ )  $220V$ , rotorda (Y)  $190V/\sqrt{3} = 110V$

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.

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

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