

## 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

$$r_1 = r_2' = 0,5\Omega, \quad x_1 = x_2' = 0,7\Omega, \quad g_c = b_m = 0,009S$$

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

$$r_1 = 2\Omega, \quad r_2' = 3\Omega, \quad x_1 = x_2' = 4\Omega, \quad g_c = b_m = 0,005S$$

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 değerinde elde edilir? Bu değerde 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

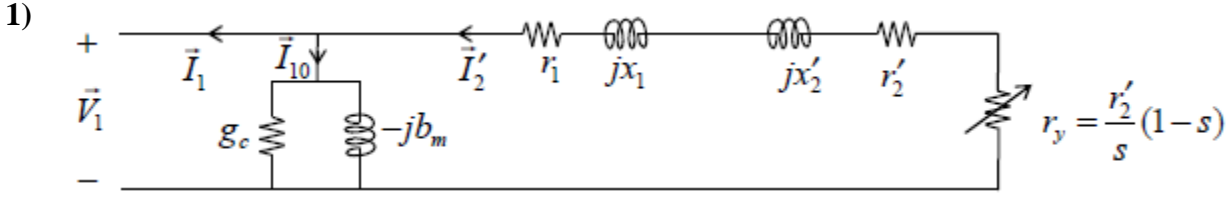
5) Üç fazlı, silindirik rotorlu, özdeş iki senkron makina armatürlerinden birbirine bağlı olup birisi jeneratör, diğeri motor modunda aynı sabit değerinde uyartım akımlarıyla, sabit hızda çalıştırılmaktadır. Bu sırada motorun mekanik yükü değiştirilirken güç faktörünün hiç değişmediğini tek faz vektör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

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

BAŞARILAR ...

Yard. Doç. Dr. Ata SEVİNÇ

**ELEKTRİK MAKİNALARI – 2 FİNAL SINAVI CEVAP ANAHTARI**  
**16.06.2011**



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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.

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

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

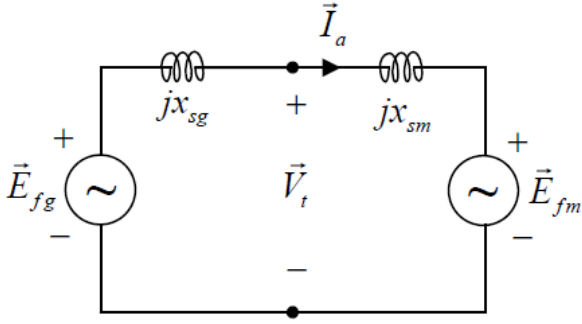
$$X_s^{\text{doymamis}} = \frac{240V / \sqrt{3}}{3,8A} = \frac{120V / \sqrt{3}}{1,9A} = 36,5 \Omega / \text{faz} \quad \text{Anma akımı} = \frac{5000VA}{\sqrt{3} \cdot 380V} = 7,6A \text{ olup KDK'da}$$

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

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

5)

EM-2-F-2011-CA-2



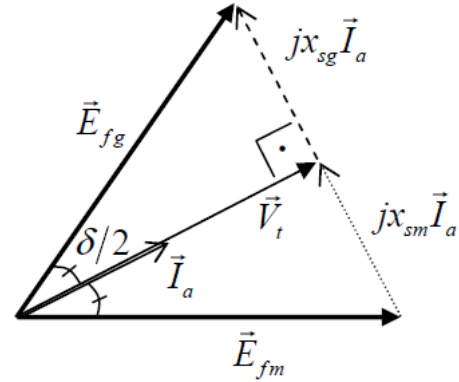
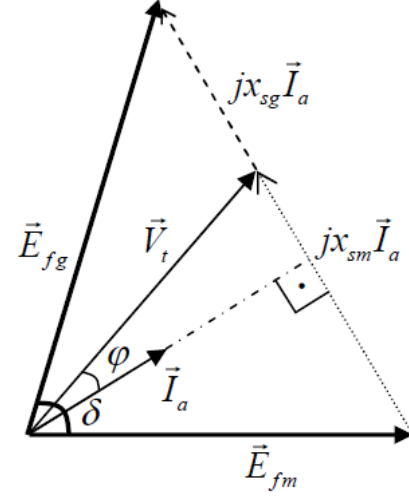
$$\vec{E}_{fg} - \vec{E}_{fm} = j(x_{sg} + x_{sm})\vec{I}_a$$

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

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

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

Ancak bunlar özdeş senkron makineler iseler ve hızları ile uyarım 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  $\delta$  değişir; ancak  $\delta$  ne olursa olsun,  $\vec{V}_t$  ile  $\vec{I}_a$  arasındaki açı verilen şartlara göre hep  $0^\circ$  olduğundan, motorun güç faktörü daima  $\cos 0^\circ = 1$  olur. (1 için ileri veya geri demeyiz.)



**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  $\Omega$  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:  $s_{T \max} \approx \frac{r'_{2Top}}{\sqrt{r_1^2 + (x_1 + x'_2)^2}}$

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.)

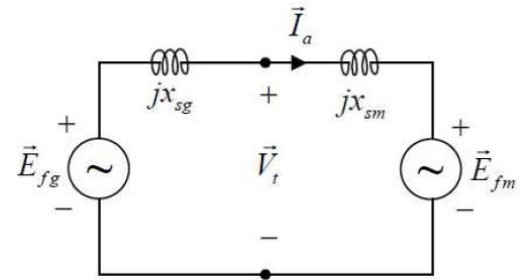
Açık Devre Testi	
Uyartım akımı (A)	Armatür hat gerilimi (V)
0,6	315
1,2	630
1,8	840
2,4	1000
3,0	1110

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:

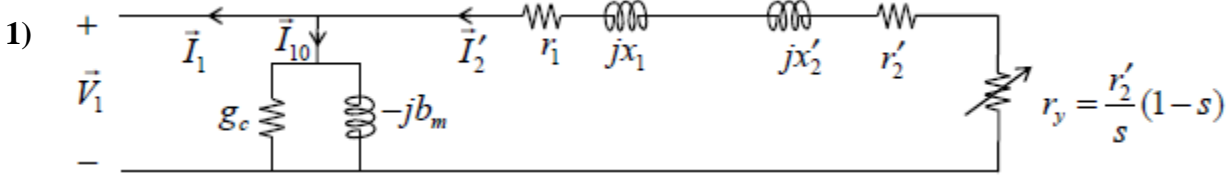
$$P = \frac{E_1 E_2}{X} \sin \delta \quad (\text{tek faz})$$



**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.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$3) n_r = \frac{120(f \pm f_r)}{P} = \frac{120(50 \pm 12)}{6} \text{ dev/dk} \quad \text{Rotor faz sırası statorunkiyle aynıysa aradaki işaret eksi,}$$

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.  $\Delta$  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

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

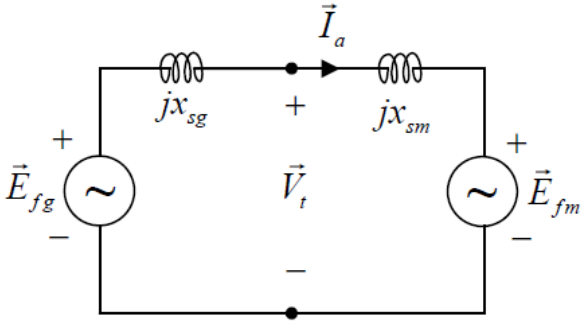
ADK'nın ilk 2 ölçüm takımı doğrusal bölgesi (HAD) üzerindedir. Bu yüzden bunların herhangi birinden:

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

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

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

5)

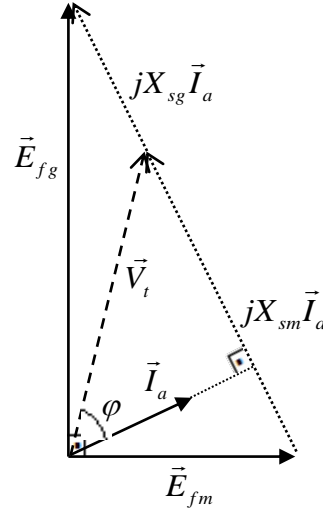


$$\vec{E}_{fg} - \vec{E}_{fm} = j(x_{sg} + x_{sm})\vec{I}_a$$

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

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

Maksimum güç durumunda vektör şeması yandaki gibi olur



## 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  $\Delta$  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  $22\Omega$ '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)

BAŞARILAR ...

Yard. Doç. Dr. Ata SEVİNÇ

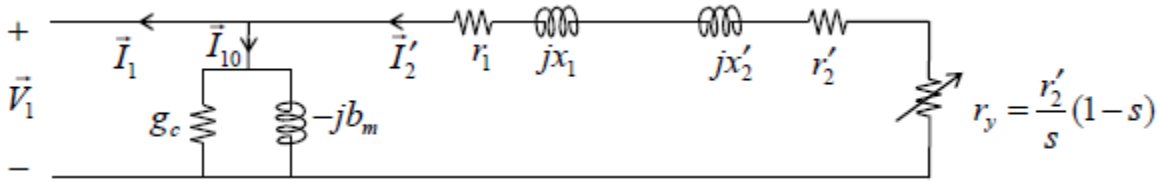
# ELEKTRİK MAKİNALARI – 2 FİNAL SINAVI CEVAP ANAHTARI

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)



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

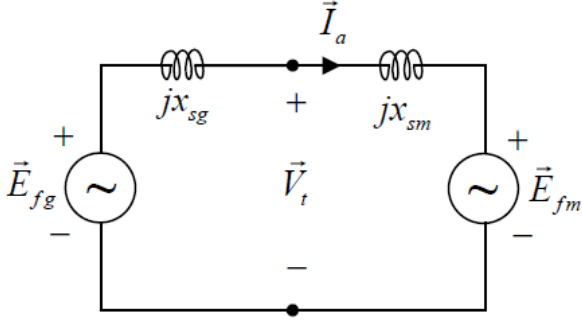
uyarım 0,3A'dır. ADK'da anma gerilimini veren uyarım da 0,4A'dır. Dolayısıyla

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



4) Tek faz eşdeğer devresi:

EM-2-F-2012-CA-2



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

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

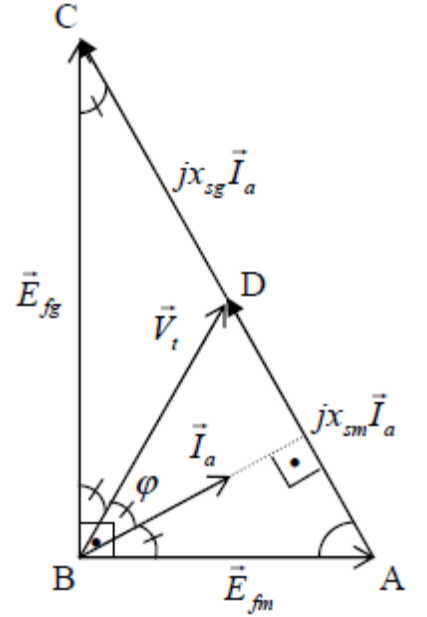
$$\vec{I}_a \perp j\vec{I}_a$$

Uyartım akısının uyartım akımıyla doğru orantılı olduğu bölgede senkron reaktanslar doymamış değerindedir ve  $E_f$  gerilim büyüklükleri uyartım akımıyla da doğru orantılıdır. Buna göre  $E_{fg} = \sqrt{3} \cdot E_{fm}$  demektir. Bunlar sabitken maksimum güç durumunda  $\vec{E}_{fg} \perp \vec{E}_{fm}$  olduğu için ve yukarıdaki formüllerden dolayı tek faz vektör şeması aşağıdaki gibi olur:

$E_{fg} = \sqrt{3} \cdot E_{fm}$  olduğu için BCA açısı  $30^\circ$  'dir. Yani CAB açısı  $60^\circ$  'dir. D noktası AC'nin tam ortası olduğu için yatay hizası BC'yi, düşey hizası da BA'yı ortalamaktadır. Bu nedenle BDC ikizkenar üçgendir. Yani tek faz için  $V_t = x_{sg} I_a = 22\Omega \times 10A = 220V$ . CBD açısı da  $30^\circ$  olduğu için DBA açısı  $60^\circ$  olur. Yani DBA eşkenar bir üçgendir. Bunun DA kenarına ait yüksekliği  $\vec{I}_a$  hizasında olup aynı zamanda açıortayıdır. Bu yüzden  $\vec{I}_a$  vektörü  $\vec{V}_t$  vektöründen  $30^\circ$  geridedir.

Sonuç olarak fazlararası gerilim  $\sqrt{3} \times 220V \approx 380V$

Güç faktörü  $\cos 30^\circ = 0,866$  geri bulunur.



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

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

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.

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

$$I_2' = 6,417 A \rightarrow (4,73 \Omega + j 4,335 A) = 6,417 A \angle 42,5^\circ$$

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

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

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

$$2) \quad V_{10} = 4000V \quad I_{10} = 1,155 A \quad P_{10} = 2000W$$

$$V_{1k} = 120V \quad I_{1k} = 34,64 A \quad P_{1k} = 1500W$$

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

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

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

$$3) \quad V_{base}^h = 4000V \quad I_{base}^h = 60 A \quad S_{base} = P_{base} = \sqrt{3} \times 4000V \times 60A = 415,69 kW$$

$$Z_{base} = R_{base} = 4000V / (60A / \sqrt{3}) = 115,5 \Omega$$

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

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

$$r_{ölk} = \frac{0,6}{115,5} = 0,0052 pu \quad (\text{tele faz tabanına göre})$$

(base = taban)

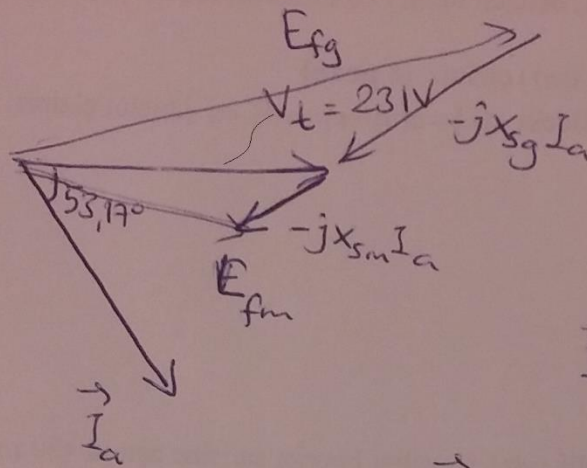
$$4) X_s(\text{dogmuse}) = \frac{4000\text{V}/\sqrt{3}}{56\text{A}} = 41,2\ \Omega$$

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

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

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

5)



$$\vec{I}_a = I_a \angle 0^\circ$$

$$\vec{V}_t = 231\text{V} \angle 53,17^\circ = 231(0,6 + j0,8)$$

$$E_{fm} = 231 \times 0,6 + j(231 \times 0,8 - 30 \times 4) = 153\text{V} \angle 25^\circ$$

$$E_{fg} = 231 \times 0,6 + j(231 \times 0,8 + 30 \times 1) = 256\text{V} \angle 57^\circ$$

$$P_m = 3 \frac{256 \times 153}{1+4} \sin(57^\circ - 25^\circ) = 12,47\text{ kW}$$

$$\omega_r = 20\pi \text{ rad/s}$$

$$T_m = P_m / \omega_r = 198,5\text{ Nm}$$

**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 makinaya 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 makina 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 ( $E_{fn}$ ) 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 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.)

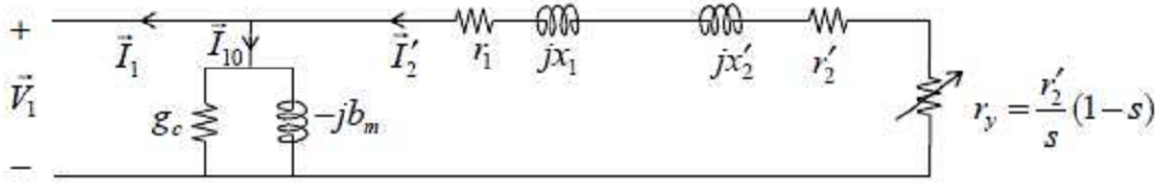
BAŞARILAR ...

Yard. Doç. Dr. Ata SEVİNÇ

# ELEKTRİK MAKİNALARI – 2 FİNAL SINAVI CEVAP ANAHTARI

03 Haziran 2014

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



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:  $P_c = (5569 - 442 - 160) \text{ W} = 4967 \text{ W}$  (elektriksel)

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

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

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

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

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

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

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:

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

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

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

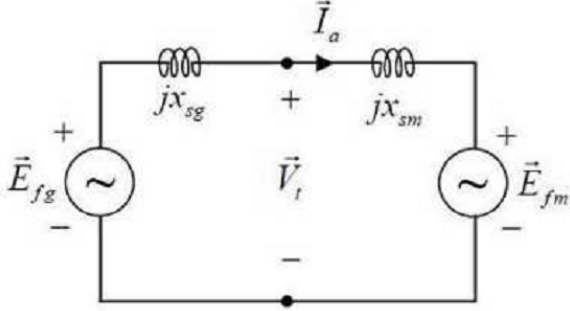
KDK'da anma akımını veren uyarım akımı tabloda açıkça olmadığı için KDK'nın doğrusallığından, veya en yakın iki komşu değer arasındaki orantıdan:

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

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

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

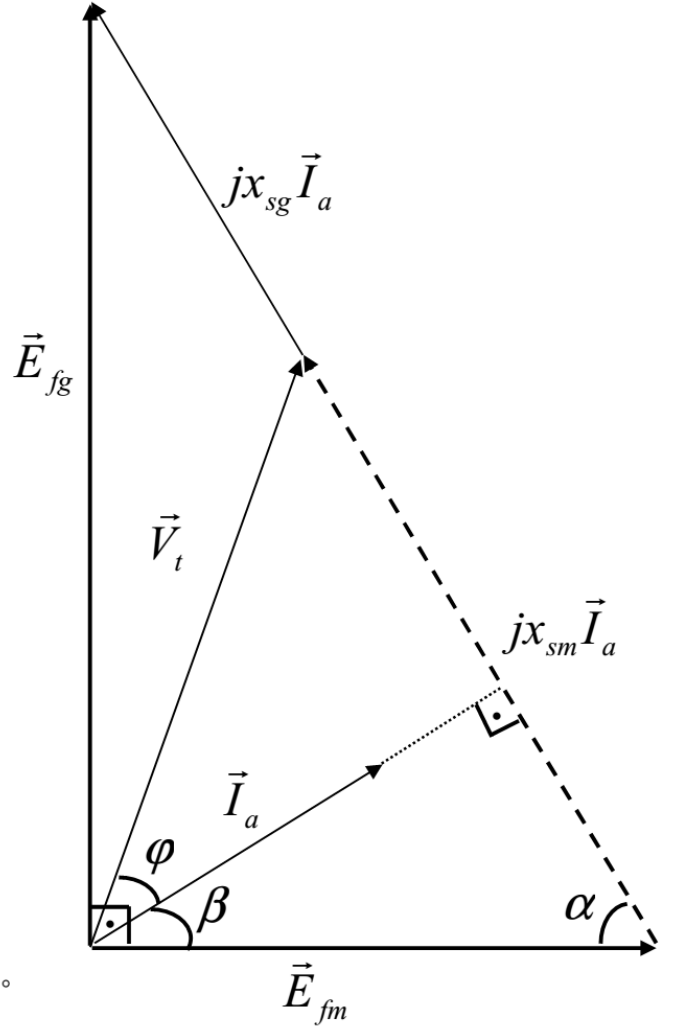
$$\boxed{V_t = 166,1 V}$$

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

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

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

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





# ELEKTRİK MAKİNALARI – 2 FİNAL SINAVI SORULARI

04.6.2015 Süre: 80 dakika

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

$$r_1 = 0,5 \Omega, r_2' = 0,8 \Omega, x_1 = x_2' = 3,6 \Omega, g_c = 0,5 mS, b_m = 2,5 mS$$

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

$$r_1 = 0,2 \Omega, r_2' = 0,3 \Omega, x_1 = x_2' = 5 \Omega, g_c = 2 mS, b_m = 4 mS$$

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)

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

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

## 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 tanımladığımızı ters yönlü tanımlarsak böyledir. Motordakiyle aynı yönlü tanımlarsak bunun eksiyle çarpılmışı olurdu. Kutupsal için genlik aynı kalıp açısı  $180^\circ$  farkla  $-136,17^\circ$  olurdu.)

$P_{Cu} = 1746W$ ,     $P_{Fe} = 73W$ ,     $P_m = 11,82kW$ ,     $P_c = 10,00kW$      $P_g = 14,06kW$     Verim = %71,1  
 $\omega_r = 57,6 \text{ rad/s}$ ,     $T_c = 244 \text{ Nm}$ .

2) a) Kalkışta  $s = 1$ 'dir, yani  $s_{r_{\max}} = 1$  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) Bu soruda aslında maksimum tork sorulmasına niyetlenmiş fakat sehven kalkış torku sorulmuştur. Maksimum tork ise  $r'_2$ 'den bağımsızdır. Dolayısıyla  $r_2$ 'den de  $r_{2\text{ilave}}$ 'den de bağımsızdır. Değişmediği için tam 1 katı olurdu. Kalkış torku hesabı biraz daha uzundur. Şöyle ki:

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:

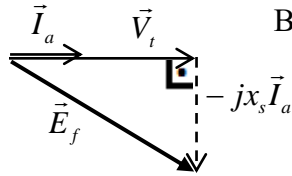
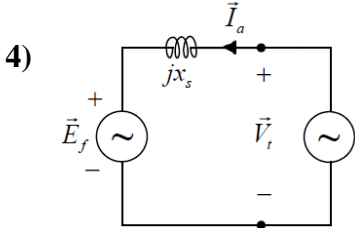
$$X_s^{\text{doymamis}} = \frac{240V/\sqrt{3}}{11,4A} = \frac{120V/\sqrt{3}}{5,7A} = 12,15 \Omega / \text{faz} \quad \text{Anma akımı} = \frac{13000VA}{\sqrt{3} \cdot 380V} = 19,75A \text{ olup KDK tablosunda}$$

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  $V_{\text{taban}} = 380V/\sqrt{3} = 230,94V$ ,     $I_{\text{taban}} = 19,75A \rightarrow Z_{\text{taban}} = 219,39V/19,75A = 11,11 \Omega$

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



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

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

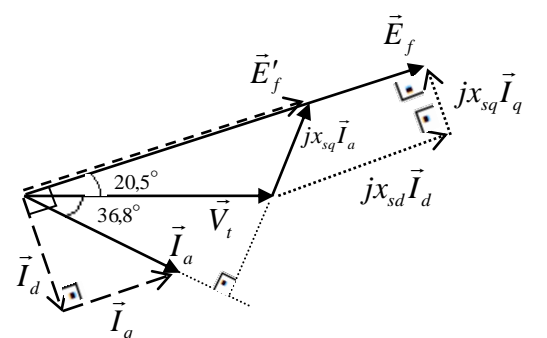
bileşeni bundan 90 geridedir:

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

$\vec{E}_f$ '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

## ELEKTRİK MAKİNALARI – 2 FİNAL SINAVI SORULARI

31 Mayıs 2016 Süre: 75 dakika

1) Tek faza indirgenmiş ve statora yansıtılmış eşdeğer devre parametreleri

$$r_1 = 0,25 \Omega, \quad r_2' = 1,24 \Omega, \quad x_1 = x_2' = 2,0 \Omega, \quad g_c = 7 \text{ mS}, \quad b_m = 43 \text{ mS}$$

olan üç fazlı, statoru Y bağlı, 6 kutuplu bir asenkron jeneratörün statorundan fazlar arası 400V (50Hz) uygulanırken 1200 rpm hızla dönmesi sağlanmaktadır. Bu durumda jeneratörün kendisinden kaynaklanan sürtünme kaybı ise 800W olmaktadır. Jeneratörün verimini ve giriş torkunu hesaplayınız. Yaklaşık eşdeğer devre kullanınız. (30 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 500 rpm'de vermesi için rotor terminallerine dışarıdan Y bağlı olarak ilave edilmesi gereken faz başına direnci bulunuz. (16 puan)

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

3) 3 fazlı, yıldız bağlı, 660V'luk, 34,3kVA'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 değerlerini p.u. cinsinden bulunuz. Ayrıca kısa devre oranını bulunuz. Armatür direncini ihmal ediniz. (24 puan) (p.u. cinsinden bulamayanlar için soru 18 puanlıktır)

Açık Devre Testi	
Uyartım akımı (A)	Armatür hat gerilimi (V)
0,60	208
1,20	416
1,80	556
2,40	660
3,00	729

Kısa Devre Testi	
Uyartım akımı (A)	Armatür hat akımı (A)
0,60	10
1,20	20
1,80	30
2,40	40
3,00	50

4) Çıkık kutuplu bir senkron alternatörün senkron reaktansı d ve q bileşenleri için sırasıyla 0,75 p.u. ve 0,55 p.u. olup armatür direnci 0,2 p.u.'dur. Alternatör, anma geriliminde yarı yükte, 0,8 geri güç faktörü ile anma gücünde çalışıyorsa uyartım gerilimi  $\vec{E}_f$  ne olur? (p.u. cinsinden vektörel olarak bulunuz.) (30 puan)

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

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

# ELEKTRİK MAKİNALARI-2 FİNAL CEVAP ANAHTARI

31 Mayıs 2016

$$1) \begin{array}{l} n_s = 1000 \text{ rpm} \\ s = -0,2 \\ r_g = -7,44 \Omega \end{array} \left| \begin{array}{l} \hat{V}_1 = 231 \text{ V} \angle 0^\circ \\ \hat{I}_2' = (+26,73 + j17,97) \text{ A} = 32,2 \text{ A} \angle 34^\circ \end{array} \right.$$

$$P_{cu} = 4638 \text{ W} \quad P_{Fe} = 1120 \text{ W} \quad P_m = 23158 \text{ W}$$

$$P_g = 23958 \text{ W} \quad P_c = 17400 \text{ W} \quad \eta = \%72,6$$

$$\omega_r = 125,7 \text{ rad/s} \quad T_g = 190,7 \text{ Nm}$$

Daha önce defalarca bu tarz soru çözümü yayımlandığı için, sınavda öğrencinin yazması gereken işlem adımları burada gösterilmemiş, sadece sonuçlar verilmiştir.

$$2) n_{Tmax} = 500 \text{ rpm} \Rightarrow s_{Tmax} = \frac{1000 - 500}{1000} = 0,5$$

$$0,5 = \frac{r_{2Top}'}{\sqrt{0,25^2 + (2+2)^2}} \rightarrow r_{2Top}' = 2,004 \Omega = 1,24 \Omega + r_{2ilave}'$$

$$r_{2ilave}' = 0,764 \Omega \rightarrow r_{2ilave} = \frac{0,764 \Omega}{2^2} = 0,191 \Omega$$

( $N_s/N_r = 2$ )

$$3) \text{ Anma akımı (hatt)} = \frac{34300 \text{ VA}}{\sqrt{3} \cdot 660 \text{ V}} = 30,0 \text{ A} \rightarrow \text{4 olduğu için aynı zamanda tek faz anma akımı}$$

ADK'da

$$V_t = 1 \text{ pu} \rightarrow 660 \text{ V} \rightarrow I_u = 2,40 \text{ A}$$

$$\text{KDK'da } I_u = 2,40 \text{ A} \rightarrow I_a = 40 \text{ A} \rightarrow I_a = \frac{40}{30} = 1,33 \text{ pu}$$

$$Z_s(\text{doymuş}) = \frac{1,00}{1,33} = 0,75 \text{ pu} = X_s(\text{doymuş})$$

$$\text{Doğrusal bölgede } I_u = 1,20 \text{ A} \Rightarrow \text{ADK'da (HAD'de)} \quad V_t = \frac{416 \text{ V}}{660 \text{ V}} = 0,63 \text{ pu}$$

$$\hookrightarrow \text{KDK'da } I_a = \frac{20 \text{ A}}{30 \text{ A}} = 0,67 \text{ pu}$$

$$Z_s(\text{doymamış}) = \frac{0,63}{0,67} = 0,945 \text{ pu}$$

$$\text{KDK'da } I_a = 1,00 \text{ pu} \Rightarrow I_u = 1,80 \text{ A}$$

$$k_{do} = \frac{2,40}{1,80} = 1,33$$

$$\left( \Omega \text{ cinsinden bulmak için } Z_{taban} = \frac{660V/\sqrt{3}}{30A} = 12,7 \Omega \right)$$

$$X_s(\text{doymuş}) = 0,75 \times 12,7 = 9,53 \Omega$$

$$X_s(\text{doymamış}) = 0,945 \times 12,7 = 12,00 \Omega$$

Ya da önce  $\Omega$  cinsinden hesaplanıp sonra  $12,7 \Omega$ 'a bölünerek de p.u. değerler bulunabilirdi

$$4) \quad X_{sd} = 0,75 \text{ pu} \quad X_{sa} = 0,55 \text{ pu} \quad r_i = 0,2 \text{ pu}$$

$$\vec{V}_t = 1,00 \text{ pu} \angle 0^\circ$$

$$\vec{I}_a = \frac{0,5}{1,00} \angle -\cos^{-1} 0,8 = 0,5 \text{ pu} \angle -36,9^\circ = 0,4 - j0,3 \text{ pu}$$

$$\vec{E}'_f = 1 + j0 + 0,2 \times (0,4 - j0,3) + j0,55 (0,4 - j0,3)$$

$$= (1 + 0,2 \times 0,4 + 0,55 \times 0,3) + j(-0,2 \times 0,3 + 0,55 \times 0,4)$$

$$\vec{E}'_f = 1,245 + j0,16 = 1,255 \text{ pu} \angle 7,3^\circ$$

$$I_d = 0,5 \text{ pu} \cdot \sin(36,9^\circ + 7,3^\circ) = 0,3486 \text{ pu}$$

$$E_f = 1,255 + (0,75 - 0,55) \times 0,3486 = 1,325 \text{ pu}$$

$$\boxed{\vec{E}_f = 1,325 \text{ pu} \angle 7,3^\circ}$$

## ELEKTRİK MAKİNALARI – 2 BÜTÜNLEME SINAVI SORULARI

21 Haziran 2016 Süre: 75 dakika

1) Tek faza indirgenmiş ve statora yansıtılmış eşdeğer devre parametreleri

$$r_1 = 10 \Omega, \quad r_2' = 20 \Omega, \quad x_1 = x_2' = 15 \Omega, \quad g_c = 25 \mu S, \quad b_m = 35 \mu S$$

olan üç fazlı, statoru Y bağlı, 10 kutuplu bir asenkron jeneratörün statorundan fazlar arası 6300V (50Hz) uygulanırken 612 rpm hızla dönmesi sağlanmaktadır. Bu durumda jeneratörün kendisinden kaynaklanan sürtünme kaybı ise 800W olmaktadır. Jeneratörün verimini ve giriş torkunu hesaplayınız. Yaklaşık eşdeğer devre kullanınız. (30 puan)

2) 1. sorudaki parametrelere sahip bilezikli bir asenkron motorun, stator/rotor sarım oranı 2 ve rotoru da Y bağlıdır. 50Hz ile **motor** olarak çalıştırılırken maksimum torku 60 rpm'de vermesi için rotor terminallerine dışarıdan Y bağlı olarak ilave edilmesi gereken faz başına direnci bulunuz. (20 puan)

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

3) 3 fazlı, yıldız bağlı, 6300 V'luk, 36 kVA'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 değerlerini p.u. cinsinden bulunuz. Ayrıca kısa devre oranını bulunuz. Armatür direncini ihmal ediniz. (25 puan) (p.u. cinsinden bulamayanlar için soru 18 puanlıktır)

Açık Devre Testi	
Uyartım akımı (A)	Armatür hat gerilimi (V)
1,0	1985
2,0	3970
3,0	5310
4,0	6300
5,0	6960

Kısa Devre Testi	
Uyartım akımı (A)	Armatür hat akımı (A)
1,0	0,66
2,0	1,32
3,0	1,98
4,0	2,64
5,0	3,30

4) Silindirik rotorlu ve Y bağlı iki senkron makinanın anma akım ve gerilimleri aynı olup biri jeneratör olarak çalışırken, motor olarak çalışan diğerini besleyecek şekilde armatürlerinden birbirine bağlanmıştır. Senkron reaktansları jeneratör ve motor için sırasıyla  $X_{sg} = 0,90 p.u.$  ve  $X_{sm} = 0,60 p.u.$  Uyartım akımları anma geriliminde anma yükünde terminal uçlarında birim güç faktörü olacak şekilde ayarlanıyor ve bu değerinde sabit tutuluyor. Bu şartlarda değişen yükler için senkron motorun verebileceği maksimum gücü p.u. olarak bulunuz. Maksimum güç şartlarında armatürlerden geçen akımı da p.u. olarak bulunuz. (25 puan)

# ELEKTRİK MAKİNALARI – 2 FİNAL SINAVI SORULARI

05 Haziran 2017 Süre: 75 dakika

1) Tek faza indirgenmiş ve statora yansıtılmış eşdeğer devre parametreleri

$$r_1 = 0,43 \Omega, \quad r_2' = 0,64 \Omega, \quad x_1 = x_2' = 8,5 \Omega, \quad g_c = 1,7 mS, \quad b_m = 5,4 mS$$

olan üç fazlı, statoru  $\Delta$  bağlı, 12 kutuplu bir asenkron jeneratörün statorundan fazlar arası 400V (50Hz) uygulanırken 520 rpm hızla dönmesi sağlanmaktadır. Bu durumda jeneratörün kendisinden kaynaklanan sürtünme kaybı ise 1200W olmaktadır. Yaklaşık eşdeğer devre kullanarak jeneratörün verimini ve giriş torkunu hesaplayınız. (30 puan)

2) 1. sorudaki asenkron makina, stator/rotor sarım oranı 2 olan, rotoru Y bağlı bilezikli bir makine olsun. 50Hz ile motor olarak çalıştırılırken maksimum torku 455 rpm hızda vermesi için rotor terminallerine dışarıdan Y bağlı olarak ilave edilmesi gereken faz başına direnci bulunuz. (16 puan)

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

3) 3 fazlı, **üçgen** bağlı, 400V'luk, 20,3kVA'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 değerlerini p.u. cinsinden bulunuz. Ayrıca kısa devre oranını bulunuz. Armatür direncini ihmal ediniz. (24 puan) (p.u. cinsinden bulamayanlar için soru 18 puanlıktır)

Açık Devre Testi	
Uyartım akımı (A)	Armatür hat gerilimi (V)
0,50	126
1,00	252
1,50	337
2,00	400
2,50	442

Kısa Devre Testi	
Uyartım akımı (A)	Armatür hat akımı (A)
0,50	8
1,00	16
1,50	24
2,00	32
2,50	50

4) Çıkık kutuplu bir senkron alternatörün senkron reaktansı d ve q bileşenleri için sırasıyla 0,92 p.u. ve 0,74 p.u. olup armatür direnci 0,25 p.u.'dur. Alternatör, anma geriliminde tam yükte, 0,7 geri güç faktörü ile çalışıyorsa uyartım gerilimi  $\vec{E}_f$  ne olur? (p.u. cinsinden vektörel olarak bulunuz.) (30 puan)

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

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



## ELEKTRİK MAKİNALARI – 2 FİNAL SINAVI CEVAPLARI

05 Haziran 2017

*Benzer sorular eskiden çok çözüldüğü için sınavda öğrenciden beklenen gidiş yollarının çoğu burada gösterilmemiştir.*

$$1) n_s = 500 \text{rpm} \quad s = -0,04 \quad r_y = \frac{r'_2}{s}(1-s) = -16,64 \Omega$$

$$\vec{I}'_2 = (11,72 + j12,80)A = 17,35A \angle 47,5^\circ$$

$$P_{Cu} = 966W$$

$$P_{Fe} = 816W$$

$$P_m = 15030W$$

$$P_g = 16230W$$

$$P_\zeta = 13247W$$

$$\text{Verim} = \%81,6$$

$$\omega_r = 54,45 \text{rad/s}$$

$$T_g = 298 \text{Nm}$$

Bu cevaplarda  $\vec{I}'_2$  ve  $P_m$ , motorlarda hep kullandığımızın tersi yönde tanımlanmıştır.

$$2) n_s = 500 \text{rpm} \quad \text{İstenen } s_{T_{\max}} = 0,09 \quad r'_{2Top} = 1,53 \Omega \quad r'_{2ilave} = 0,89 \Omega$$
$$r_{2ilave} = 0,223 \Omega / \text{faz}$$

$$3) \text{ Anma hat akımı} = I_{\text{taban}}^{\text{hat}} = 29,3A \quad V_{\text{taban}}^{\text{hat}} = 400V = 1,000 p.u.$$

ADK'da anma hat gerilimini veren uyarım akımı için KDK'daki armatür hat akımı  $32A \rightarrow 1,092 p.u.$

$$X_s^{\text{doymuş}} = \frac{1,000}{1,092} = 0,916 p.u.$$

(Hat akımını, hat akımının tabanına göre  $p.u.$ 'ya çevirdiğimiz için üçgen olsa bile  $\sqrt{3}$ 'e bölmüyoruz.)  
ADK'nın doğrusal bölgesindeki meselâ  $252V = 0,630 p.u.$  veren uyarım akımı için KDK'daki armatür hat akımı  $16A \rightarrow 0,546 p.u.$

$$X_s^{\text{doymamis}} = \frac{0,630}{0,546} = 1,154 p.u.$$

ADK'da anma hat gerilimini veren uyarım akımı =  $2,00A$

$$\text{KDK'da anma hat akımı için uyarım akımı} = 1,50A + \frac{29,3 - 24}{32 - 24}(2,00 - 1,50)A = 1,83A$$

$$\text{Kısa devre oranı} = \frac{2,00}{1,83} = 1,092$$

4) Anma geriliminde tam yükte  $I_a = 1 p.u.$  olur.

$$0,7 \text{ geri güç faktöründe } \varphi = +\cos^{-1} 0,7 = 45,6^\circ.$$

$$\text{Yani } \vec{V}_t = 1 p.u. \angle 0^\circ \text{ açı kabulüyle } \vec{I}_a = 1 p.u. \angle -45,6^\circ = 0,700 - j0,714$$

$$\vec{E}'_f = \vec{V}_t + (r_1 + jx_{sq})\vec{I}_a = 1 + (0,25 + j0,74)(0,700 - j0,714) = 1 + 0,175 - j0,1785 + 0,5285 + j0,5180$$

$$\vec{E}'_f = 1,7034 + j0,3395 = 1,737 p.u. \angle 11,3^\circ \text{ yani } E'_f = 1,737 p.u. \text{ ve } \delta = 11,3^\circ$$

$$I_d = I_a \sin(\varphi + \delta) = 1 \times \sin(45,6^\circ + 11,3^\circ) = 0,838 p.u.$$

$$E_f = 1,737 + (0,92 - 0,74) \times 0,838 = 1,888 p.u. \text{ Yani } \boxed{\vec{E}_f = 1,888 p.u. \angle 11,3^\circ}$$

## ELEKTRİK MAKİNALARI – 2 BÜTÜNLEME SINAVI SORULARI

21 Haziran 2017 Süre: 75 dakika

1) Tek faza indirgenmiş ve statora yansıtılmış eşdeğer devre parametreleri

$$r_1 = 0,75 \Omega, \quad r_2' = 1,11 \Omega, \quad x_1 = x_2' = 15 \Omega, \quad g_c = 1 mS, \quad b_m = 2 mS$$

olan üç fazlı, statoru Y bağlı, 8 kutuplu bir asenkron jeneratörün statorundan fazlar arası 700V (50Hz) uygulanırken 780 rpm hızla dönmesi sağlanmaktadır. Bu durumda jeneratörün kendisinden kaynaklanan sürtünme kaybı ise 1000W olmaktadır. Yaklaşık eşdeğer devre kullanarak jeneratörün verimini ve giriş torkunu hesaplayınız. (30 puan)

2) 1. sorudaki asenkron makina, stator/rotor sarım oranı 3 olan, rotoru Y bağlı bilezikli bir makine olsun. Rotor terminallerine dışarıdan Y bağlı olarak faz başına  $0,25\Omega$  direnç ilave edilirse, 50Hz ile motor olarak çalıştırılırken maksimum torku hangi hızda elde edilir? Devir/dakika cinsinden bulunuz. (16 puan)

Yardımcı formül:  $s_{T \max} \approx \frac{r'_{2Top}}{\sqrt{r_1^2 + (x_1 + x'_2)^2}}$

3) 3 fazlı, yıldız bağlı, 1100V'luk, 80kVA'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 değerlerini *p.u.* cinsinden bulunuz. Ayrıca kısa devre oranını bulunuz. Armatür direncini ihmal ediniz. (24 puan) (*p.u.* cinsinden bulamayanlar için soru 18 puanlıktır)

Açık Devre Testi	
Uyartım akımı (A)	Armatür hat gerilimi (V)
0,50	215
1,00	430
1,50	645
2,00	840
2,50	980
3,00	1100
3,50	1200
4,00	1270

Kısa Devre Testi	
Uyartım akımı (A)	Armatür hat akımı (A)
0,50	6,5
1,00	13,0
1,50	19,5
2,00	26,0
2,50	32,5
3,00	39,0
3,50	45,5
4,00	52,0

4) Üç fazlı, Y bağlı, silindirik ve sargılı rotorlu, armatür gerilim ve güçlerinin anma değerleri aynı iki senkron makina, armatürlerinden birbirine bağlanmış ve biri jeneratör modunda çalışıp diğerini motor modunda beslemektedir. Jeneratörün ve motorun senkron reaktansları sırasıyla  $X_{sg} = 0,84 p.u.$  ve  $X_{sm} = 0,74 p.u.$  olup, armatür dirençleri ihmal edilmektedir. Motor anma geriliminde ve tam yükteyken birim güç faktörüyle çalışacak şekilde her iki makinanın uyartım akımları ayarlanıyor. Uyartım akımları bu değerlerde sabit tutulurken, değişen motor yüküne göre maksimum güç (*p.u.*) ne olur? Maksimum güç şartlarında armatür akımı büyüklüğünü (*p.u.*) de bulunuz. (30 puan)

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

ELEKTRİK MAKİNALARI - 2 BÜTÜNLEME SINAVI CEVAP ANAHTARI  
21 Haziran 2017

①

$$n_s = 750 \text{ rad/s} \quad s = -0,04 \quad r_g = -28,86 \Omega$$

$$\vec{V}_1 = 404 \text{ V} \angle 0^\circ \quad \vec{I}'_2 = 10 \text{ A} \angle 48^\circ = 6,70 + j7,44 \text{ A}$$

$$P_{Cu} = 559,5 \text{ W}$$

$$P_g = 9681 \text{ W}$$

$$\omega_r = 81,7 \text{ rad/s}$$

$$P_{Fe} = 490 \text{ W}$$

$$P_a = 7632 \text{ W}$$

$$T_g = 118,5 \text{ Nm}$$

$$P_m = 8681 \text{ W}$$

$$\eta = \%78,8$$

②

$$r'_{2\text{ilave}} = 9 \times 0,25 \Omega = 2,25 \Omega$$

$$r'_{2\text{Top}} = 3,36 \Omega$$

$$s_{T\text{max}} = 0,112$$

$$(n_s - n_r) = 0,888$$

$$n_r = 666 \text{ dev/dk}$$

③

Kısa yol:

$$X_{S(\text{doymuş})} = \frac{1100 \text{ V} / \sqrt{3}}{39 \text{ A}} = 16,28 \Omega$$

$$X_{S(\text{doymamış})} = \frac{430 \text{ V} / \sqrt{3}}{13 \text{ A}} = 19,10 \Omega$$

$$I_a^{\text{anma}} = \frac{80000 \text{ A}}{\sqrt{3} \times 1100} = 42,0 \text{ A}$$

42,0 A için

$$I_f = \frac{3,00}{39,0} \times 42,0 \text{ A} = 3,23 \text{ A}$$

$$k_{do} = \frac{3,00}{3,23} = 0,9288$$

$$I_{a1}^{\text{anma}} = 42,0 \text{ A} \quad V_{\perp}^{\text{anma}} = 1100 \text{ V} / \sqrt{3} = 635 \text{ V}$$

$$Z_{\text{taban}} = 635 \text{ V} / 42 \text{ A} = 15,125 \Omega$$

$$X_{S(\text{doymuş})} = \frac{16,28}{15,125} \text{ pu} = 1,077 \text{ p.u.}$$

$$X_{S(\text{doymamış})} = \frac{19,10}{15,125} \text{ pu} = 1,263 \text{ p.u.}$$

2. yol:

$$I_a^{\text{anma}} = \frac{80000 \text{ A}}{\sqrt{3} \times 1100} = 42,0 \text{ A} = I_{a1}^{\text{anma}}$$

$$V_1^{\text{anma}} = 1100 \text{ V} \rightarrow 1 \text{ pu}$$

$$39 \text{ A} \rightarrow 39/42 = 0,9288 \text{ pu}$$

$$X_{S(\text{doymuş})} = \frac{1 \text{ pu}}{0,9288 \text{ pu}} = 1,077 \text{ pu}$$

$$430 \text{ V} \rightarrow \frac{430}{1100} = 0,391 \text{ pu}$$

$$13 \text{ A} \rightarrow \frac{13}{42} = 0,3096$$

$$X_{S(\text{doymamış})} = \frac{0,391}{0,3096}$$

$$= 1,263 \text{ pu}$$

④

$$E_{fg} = \sqrt{1 + (0,84 \times 1)^2} = 1,306 \text{ pu}$$

$$P_{\text{max}} = \frac{1,306 \times 1,244}{0,84 + 0,74} = 1,0283 \text{ pu}$$

$\delta = 90^\circ$  (pu olduğundan 3 ile çarpılmaz)

$$E_{fm} = \sqrt{1 + (0,74 \times 1)^2} = 1,244 \text{ pu}$$

$$I_a = \frac{\sqrt{1,306^2 + 1,244^2}}{0,84 + 0,74} = 1,1416 \text{ pu}$$

# ELEKTRİK MAKİNALARI – 2 FİNAL SINAVI SORULARI

08 Haziran 2018 Süre: 75 dakika

1) Tek faza indirgenmiş ve statora yansıtılmış eşdeğer devre parametreleri

$$r_1 = 1,18 \Omega, \quad r_2' = 3,55 \Omega, \quad x_1 = x_2' = 8,0 \Omega, \quad g_c = 3,0 mS, \quad b_m = 7,0 mS$$

olan üç fazlı, statoru **üçgen** bağlı, 6 kutuplu bir asenkron jeneratörün statorundan fazlar arası 220V (50Hz) uygulanırken 1200 rpm hızla dönmesi sağlanmaktadır. Bu durumda jeneratörün kendisinden kaynaklanan sürtünme kaybı ise 300W olmaktadır. Yaklaşık eşdeğer devre kullanarak jeneratörün verimini ve giriş torkunu hesaplayınız. (27 puan)

2) 1. sorudaki asenkron makina, stator/rotor sarım oranı 5 olan, **rotoru Y bağlı** bilezikli bir makine olsun. 50Hz ile **motor** olarak çalıştırılırken kalkış torkunu maksimum yapmak için rotor terminallerine dışarıdan Y bağlı olarak ilave edilmesi gereken faz başına direnci bulunuz. (13 puan)

Yardımcı formül:  $S_{T \max} \approx \frac{r'_{2Top}}{\sqrt{r_1^2 + (x_1 + x_2')^2}}$

3) 3 fazlı, **üçgen** bağlı, 380V'luk, 12,9kVA'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 değerlerini p.u. cinsinden bulunuz. Ayrıca kısa devre oranını bulunuz. Armatür direncini ihmal ediniz. (24 puan) (p.u. cinsinden bulamayanlar için soru 18 puanlıktır)

Açık Devre Testi	
Uyartım akımı (A)	Armatür hat gerilimi (V)
0,50	120
1,00	240
1,50	320
2,00	380
2,50	420

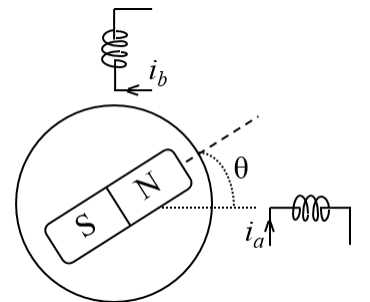
Kısa Devre Testi	
Uyartım akımı (A)	Armatür hat akımı (A)
0,50	6,53
1,00	13,1
1,50	19,6
2,00	26,1
2,50	32,7

4) Üç fazlı, Y bağlı, silindirik ve sargılı rotorlu, armatür gerilim ve güçlerinin anma değerleri aynı iki senkron makina, armatürlerinden birbirine bağlanmış ve biri jeneratör modunda çalışıp diğerini motor modunda beslemektedir. Jeneratörün ve motorun senkron reaktansları sırasıyla  $X_{sg} = 0,90 p.u.$  ve  $X_{sm} = 0,65 p.u.$  olup, armatür dirençleri ihmal edilmektedir. Motor anma geriliminde ve tam yükteyken birim güç faktörüyle çalışacak şekilde her iki makinanın uyartım akımları ayarlanıyor. Uyartım akımları bu değerlerde sabit tutulurken, değişen motor yüküne göre maksimum güç(p.u.) ne olur? Maksimum güç şartlarında armatür akımı büyüklüğünü(p.u.) de bulunuz. (24 puan)

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

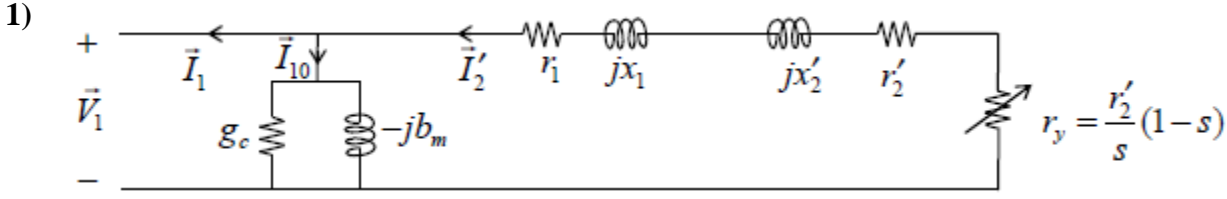
5) Adım motorunun prensip çalışmasını gösteren yandaki şekilde  $\theta$  açısının  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$  ve  $270^\circ$  konumlarına hizalanması için  $a$  ve  $b$  sargılarına hangi yönde (+, - ya da 0) akım verilmesi gerektiğini küçük bir tabloyla gösteriniz. Artı akımlı sargının rotorun N kutbunu çektiğini varsayınız. (12 puan)

$i_a$	$i_b$	$\theta$
		$0^\circ$
		$90^\circ$
		$180^\circ$
		$270^\circ$



**BAŞARILAR ...**

**ELEKTRİK MAKİNALARI – 2 FİNAL SINAVI CEVAP ANAHTARI**  
**08.06.2018**



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

$$n_s = \frac{120 \times 50}{6} \text{ dev/dak} = 1000 \text{ dev/dak} \rightarrow s = \frac{1000 - 1200}{1000} = -0,2 \rightarrow r_y = \frac{3,55 \Omega (1 + 0,2)}{-0,2} = -21,3 \Omega$$

$$\Delta \text{ olduğundan, } V_1 = 220V \rightarrow I_2' = \frac{220}{\sqrt{(1,18 + 3,55 - 21,3)^2 + (8,0 + 8,0)^2}} A = 9,55A$$

$$P_{Cu} = 3(1,18 + 3,55)(9,55)^2 W = 1295W \quad P_{Fe} = 3 \times 0,003 \times 220^2 W = 436W \quad P_{sirr} = 300W$$

$$P_m = -3(-21,3)(9,55)^2 W = 5829W \text{ (Giriş gücü (net) yönünde tanımlanmış)}$$

$$\text{Brüt giriş gücü: } P_g = 5829W + 300W = 6129W \text{ (mekanik)}$$

$$\text{Çıkış gücü: } P_\zeta = (5829 - 1295 - 436)W = 4099W \text{ (elektriksel)}$$

$$\text{Verim} = \frac{4099}{6129} = \%66,9 \quad \omega_r = \frac{\pi}{30} \cdot 1200 \text{ rad/s} = 125,7 \text{ rad/s}$$

$$\text{Brüt giriş torku: } T_g = \frac{6129W}{125,7 \text{ rad/s}} = 48,8Nm$$

$$2) s_{T \max} = \frac{r_{2 \text{Top}}'}{\sqrt{1,18^2 + (8,0 + 8,0)^2}} = 1 \text{ (Kalkış anında } n_r = 0 \rightarrow \text{ kayma} = 1)$$

$$r_{2 \text{Top}}' = 16,04 \Omega = 3,55 \Omega + r_{2 \text{ilave}}' \rightarrow r_{2 \text{ilave}}' = 12,49 \Omega. \text{ Ters yansıtmayla } r_{2 \text{ilave}} = \frac{12,49}{5^2} \Omega = 0,50 \Omega$$

$$3) \text{ Anma hat akımı} = I_{\text{taban}}^{\text{hat}} = \frac{12,9kVA}{\sqrt{3} \cdot 380V} = 19,6A$$

$$V_{\text{taban}}^{\text{hat}} = 380V = 1,000p.u.$$

ADK'da anma hat gerilimini veren uyarım akımı için KDK'daki armatür hat akımı 26,1A  $\rightarrow$  1,332p.u.

$$X_s^{\text{doymuş}} = \frac{1,000}{1,332} = 0,751p.u.$$

(Hat akımını, hat akımının tabanına göre p.u.'ya çevirdiğimiz için üçgen olsa bile  $\sqrt{3}$ 'e bölmüyoruz.) ADK'nın doğrusal bölgesindeki meselâ 240V = 0,632p.u. veren uyarım akımı için KDK'daki armatür hat akımı 13,1A  $\rightarrow$  0,668p.u.

$$X_s^{\text{doymamış}} = \frac{0,632}{0,668} = 0,945p.u.$$

Diğer Yol:

$$\text{Anma tek faz akımı} = I_{\text{taban}} = \frac{12,9kVA/3}{380V} = 11,32A$$

$$V_{\text{taban}} = 380V \quad Z_{\text{taban}} = \frac{380V}{11,32A} = 33,58 \Omega$$

$$X_s^{\text{doymuş}} = \frac{380V}{26,1A/\sqrt{3}} = 25,22 \Omega \rightarrow \frac{25,22 \Omega}{33,58 \Omega} = 0,751p.u.$$

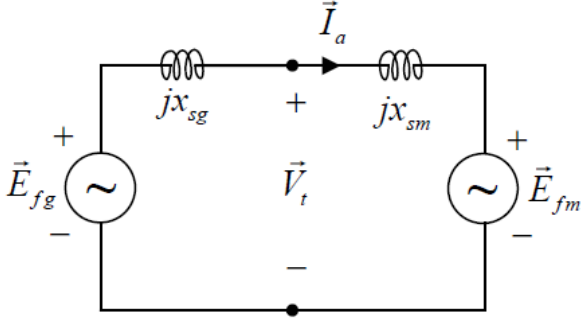
$$X_s^{\text{doymamış}} = \frac{240V}{13,1A/\sqrt{3}} = 31,73 \Omega \rightarrow \frac{31,73 \Omega}{33,58 \Omega} = 0,945p.u.$$

ADK'da anma hat gerilimini veren uyarım akımı = 2,00A

KDK'da anma hat akımı için uyarım akımı = 1,50A

Kısa devre oranı =  $\frac{2,00}{1,50} = 1,333$  (Kısa devre oranı, doymuş p.u. senkron empedansın tersine de eşittir.)

4)



$$\vec{E}_{fg} = \vec{V}_t + jx_{sg}\vec{I}_a$$

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

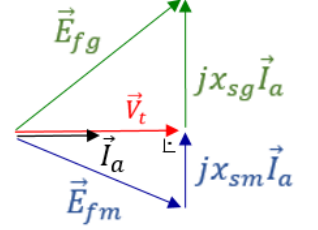
Anma değerlerinde birim güç faktörlü çalışmada:

$$V_t = 1,0 p.u. \quad S = 1,0 p.u. \quad (\text{görünür güç})$$

$$I_a = \frac{1,0}{1,0 \cos 0} p.u. = 1,0 p.u.$$

$$E_{fg} = \sqrt{1,0^2 + (0,90 \times 1,0)^2} = 1,345 p.u.$$

$$E_{fm} = \sqrt{1,0^2 + (0,65 \times 1,0)^2} = 1,193 p.u.$$



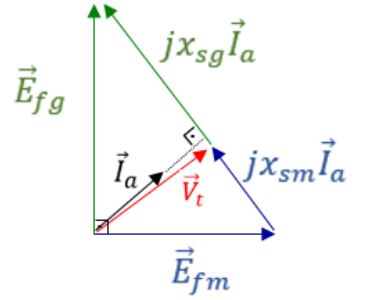
Maksimum güç çalışmasında ise uyartım akımları ve hız aynı olduğundan  $E_{fg}$  ile  $E_{fm}$  büyüklükleri önceki değerlerinde kalır, fakat  $\vec{E}_{fg} \perp \vec{E}_{fm}$  olur.

$$\text{Maksimum güç } P = \frac{1,345 \times 1,193}{0,90 + 0,65} \sin 90^\circ = 1,055 p.u.$$

(Dikkat:  $p.u.$  cinsinden güç faz sayısı ile çarpılmaz.)

$$(x_{sg} + x_{sm})I_a = \sqrt{E_{fg}^2 + E_{fm}^2} \rightarrow (0,90 + 0,65)I_a = \sqrt{1,345^2 + 1,193^2} = 1,798 p.u.$$

$$I_a = \frac{1,798}{1,55} p.u. = 1,160 p.u. \quad (\text{Sınavda şekil çizmeniz beklenmiyordu.})$$



5)

$i_a$	$i_b$	$\theta$
+	0	$0^\circ$
0	+	$90^\circ$
-	0	$180^\circ$
0	-	$270^\circ$

## ELEKTRİK MAKİNALARI – 2 BÜTÜNLEME SINAVI SORULARI

21 Haziran 2018 Süre: 75 dakika

1) Tek faza indirgenmiş ve statora yansıtılmış eşdeğer devre parametreleri

$$r_1 = 8,9 \Omega, \quad r_2' = 17,9 \Omega, \quad x_1 = x_2' = 15,0 \Omega, \quad g_c = 250 \mu S, \quad b_m = 720 \mu S$$

olan üç fazlı, statoru **üçgen** bağlı, 10 kutuplu bir asenkron jeneratörün statorundan fazlar arası 1000V (50Hz) uygulanırken 645 rpm hızla dönmesi sağlanmaktadır. Bu durumda jeneratörün kendisinden kaynaklanan sürtünme kaybı ise 500W olmaktadır. Yaklaşık eşdeğer devre kullanarak jeneratörün verimini ve giriş torkunu hesaplayınız. (27 puan)

2) 1. sorudaki asenkron makina, stator/rotor sarım oranı 8 olan, **rotoru Y bağlı** bilezikli bir makine olsun. 50Hz ile **motor** olarak çalıştırılırken kalkış torkunu maksimum yapmak için rotor terminallerine dışarıdan Y bağlı olarak ilave edilmesi gereken faz başına direnci bulunuz. (13 puan)

Yardımcı formül: 
$$S_{T \max} \approx \frac{r'_{2Top}}{\sqrt{r_1^2 + (x_1 + x_2')^2}}$$

3) 3 fazlı, **üçgen** bağlı, 400V'luk, 10,6kVA'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 değerlerini p.u. cinsinden bulunuz. Ayrıca kısa devre oranını bulunuz. Armatür direncini ihmal ediniz. (24 puan) (p.u. cinsinden bulamayanlar için soru 18 puanlıktır)

Açık Devre Testi	
Uyartım akımı (A)	Armatür hat gerilimi (V)
0,50	126
1,00	252
1,50	337
2,00	400
2,50	442

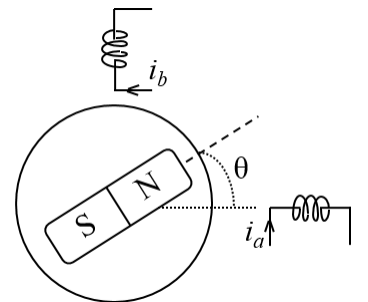
Kısa Devre Testi	
Uyartım akımı (A)	Armatür hat akımı (A)
0,50	4,70
1,00	9,40
1,50	14,1
2,00	18,8
2,50	23,5

4) Üç fazlı, Y bağlı, silindirik ve sargılı rotorlu, armatür gerilim ve güçlerinin anma değerleri aynı iki senkron makina, armatürlerinden birbirine bağlanmış ve biri jeneratör modunda çalışıp diğerini motor modunda beslemektedir. Jeneratörün ve motorun senkron reaktansları sırasıyla  $X_{sg} = 0,900 p.u.$  ve  $X_{sm} = 0,680 p.u.$  olup, armatür dirençleri ihmal edilmektedir. Motor anma geriliminde ve **yarı** yükteyken birim güç faktörüyle çalışacak şekilde her iki makinanın uyartım akımları ayarlanıyor. Uyartım akımları bu değerlerde sabit tutulurken, değişen motor yüküne göre maksimum güç(p.u.) ne olur? Maksimum güç şartlarında armatür akımı büyüklüğünü(p.u.) de bulunuz. (24 puan) (p.u. değerlerini virgülden sonra en az 3 basamak kullanınız.)

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

5) Adım motorunun prensip çalışmasını gösteren yandaki şekilde  $\theta$  açısının  $45^\circ$ ,  $135^\circ$ ,  $225^\circ$  ve  $315^\circ$  konumlarına hizalanması için  $a$  ve  $b$  sargılarına hangi yönde (+, - ya da 0) akım verilmesi gerektiğini küçük bir tabloyla gösteriniz. Artı akımlı sargının rotorun N kutbunu çektiğini varsayınız. (12 puan)

$i_a$	$i_b$	$\theta$
		$45^\circ$
		$135^\circ$
		$225^\circ$
		$315^\circ$



**BAŞARILAR ...**

**ELEKTRİK MAKİNALARI – 2 BÜTÜNLEME SINAVI CEVAP ANAHTARI**  
**21.06.2018**

**Cevaplarda öğrenciden istenen hesaplamaların çoğu burada gösterilmeden sadece sonuçlar ve final cevap anahtarına göre farklı kısımlar verilmiştir. Öğrenciden istenen hali için bir önceki final cevap anahtarına da bakınız.**

1)  $n_s = 600 \text{ dev/dak}$     $s = -0,075$     $r_y = -256,6 \Omega$     $V_1 = 1000V$     $I'_2 = 4,316A$

$P_{Cu} = 1497W$     $P_{Fe} = 750W$     $P_{sür} = 500W$

$P_m = 14335W$  (Giriş gücü (net) yönünde tanımlanmış)

Brüt giriş gücü:  $P_g = 14835W$  (mekanik)

Çıkış gücü:  $P_c = 12088W$  (elektriksel)   Verim =  $0,815 = \%81,5$

$\omega_r = 67,5 \text{ rad/s}$    Brüt giriş torku:  $T_g = 220Nm$

2)  $s_{T \max} = 1$     $r'_{2Top} = 31,29 \Omega$     $\rightarrow$     $r'_{2ilave} = 13,39 \Omega$     $r_{2ilave} = 0,21 \Omega$

3) Anma hat akımı  $= I_{taban}^{hat} = \frac{10,6kVA}{\sqrt{3} \cdot 400V} = 15,30A$

$V_{taban}^{hat} = 400V = 1,000p.u.$

ADK'da anma hat gerilimini veren uyarım akımı için KDK'daki armatür hat akımı  $18,8A \rightarrow 1,229p.u.$

$X_s^{doymuş} = 0,814p.u.$

ADK'nın doğrusal bölgesindeki meselâ  $252V = 0,630p.u.$  veren uyarım akımı için KDK'daki armatür hat akımı  $9,40A \rightarrow 0,614p.u.$

$X_s^{doymamis} = \frac{0,630}{0,614} = 1,025p.u.$

ADK'da anma hat gerilimini veren uyarım akımı =  $2,00A$

KDK'da anma hat akımı için uyarım akımı =  $(15,3/18,8) \times 2,00A = 1,63A$

Kısa devre oranı  $= \frac{2,00}{1,63} = 1,229$  (Kısa devre oranı, doymuş  $p.u.$  senkron empedansın tersine de eşittir.)

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

Anma değerlerinde birim güç faktörlü çalışmada:  $V_t = 1,000p.u.$     $S = 0,500p.u.$  (görünür güç yarım)

$I_a = \frac{0,500}{1,000\cos\theta} p.u. = 0,500p.u.$

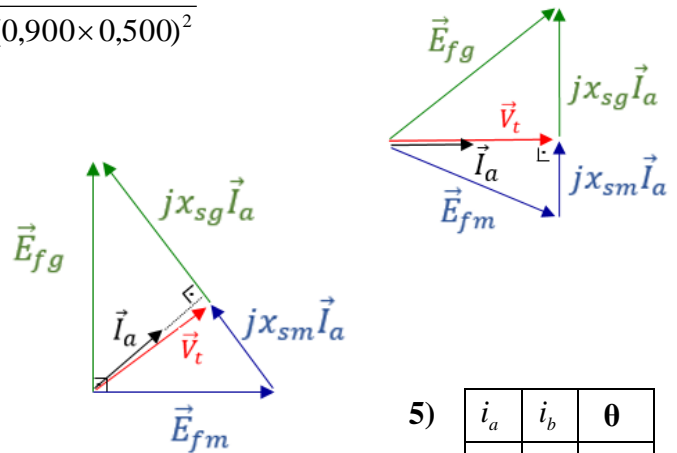
$E_{fg} = \sqrt{1,000^2 + (0,900 \times 0,500)^2}$   
 $= 1,0966p.u.$

$E_{fm} = \sqrt{1,000^2 + (0,65 \times 0,500)^2}$   
 $= 1,0562p.u.$

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

Maksimum güç  $P = \frac{1,0966 \times 1,0562}{0,900 + 0,680} \sin 90^\circ = 0,733 p.u.$

(Dikkat:  $p.u.$  cinsinden güç faz sayısı ile çarpılmaz.)



$(x_{sg} + x_{sm})I_a = \sqrt{E_{fg}^2 + E_{fg}^2} \rightarrow (0,900 + 0,680)I_a = \sqrt{1,0966^2 + 1,0562^2} = 1,5225p.u.$

$I_a = \frac{1,5225}{1,580} p.u. = 0,9636p.u.$  (Sınavda şekil çizmeniz beklenmiyordu.)

5)

$i_a$	$i_b$	$\theta$
+	+	$45^\circ$
-	+	$135^\circ$
-	-	$225^\circ$
+	-	$315^\circ$



**ELEKTRİK MAKİNALARI – 2 FİNAL SINAVI SORULARI**  
**19.6.2019 Süre: 80 dakika**

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

$$r_1 = 0,25 \Omega \quad , \quad r_2' = 0,80 \Omega \quad , \quad x_1 = x_2' = 4,80 \Omega \quad , \quad g_c = 0,005 S \quad , \quad b_m = 0,008 S$$

olup statoruna fazlar arası 381V uygulanırken 800 devir/dakika hızla dönmekte ve sürtünme kaybı 1000W 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

$$r_1 = 0,50 \Omega \quad , \quad r_2' = 1,50 \Omega \quad , \quad x_1 = x_2' = 9,00 \Omega \quad , \quad g_c = 0,003 S \quad , \quad b_m = 0,006 S$$

ve stator/rotor tek faz sarım oranı 2/1'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, 1500 devir/dakikalık, **yıldız** bağlı, 380V'luk, 37 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)
0,3	120
0,6	240
0,9	320
1,2	380
1,5	420

Kısa Devre Testi	
Uyartım akımı (A)	Armatür hat akımı (A)
0,3	17,1
0,6	34,2
0,9	51,3
1,2	68,4
1,5	85,5

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 0,75 p.u. olup ideal bir kaynaktan anma geriliminde, **yarı yükte** birim güç faktörü ile çalışacak şekilde uyartım akımı ayarlanıp bu değerinde sabit tutuluyor. Bu gerilim ve uyartım akımı uygulanırken 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 0,70 p.u. olup armatür direnci ihmal ediliyor. Alternatör, anma voltajında, 0,65 geri güç faktörü ile **yarı yükte** çalışıyorsa uyartım gerilimi  $\vec{E}_f$  ne olur? (p.u. cinsinden vektörel olarak bulunuz) (20 puan)

$$\vec{E}_f' = \vec{V}_t + r_1 \vec{I}_a + jx_{sq} \vec{I}_a \quad E_f = E_f' + (x_{sd} - x_{sq}) I_d$$

**BAŞARILAR ...**

**ELEKTRİK MAKİNALARI – 2 FİNAL SINAVI CEVAP ANAHTARI**  
**19 Haziran 2019**

1)  $n_s = 750 \text{ rpm}$        $s = -0,0667$        $r_g = -12,8 \Omega$        $\vec{V}_1 = 220V \angle 0^\circ$   
 $I'_2 = 14,50 \text{ A}$        $P_{Cu} = 662 \text{ W}$        $P_{Fe} = 726 \text{ W}$   
 $P_m = 8071 \text{ W}$        $P_g = 9071 \text{ W}$        $P_a = 6683 \text{ W}$   
 $\eta = \% 73,7$        $\omega_r = 83,78 \text{ rad/s}$        $T_g = 108,3 \text{ Nm}$

2) a) Kalkış sırasında  $n_r = 0$  olduğu için  $s = 1$  olur.  
Bu yüzden  $s_{T_{\max}} = 1$  yapılmalıdır.

$$\frac{r'_{2Top}}{\sqrt{1,50^2 + (9,0+9,0)^2}} = 1$$

$r'_{2Top} = 18,0 \Omega$        $r'_{2ilave} = 16,5 \Omega$        $r_{2ilave} = 4,13 \Omega$

b) Burada aslında maksimum tork sorulmasına niyetlenilmiş fakat sehven kalkış torku sorulmuştur.  
Maksimum tork  $r'_2$ 'den de  $r_2$ 'den de  $r_{2ilave}$ 'den de bağımsızdır. Değişmediği için tam 1 katı olurdu.

Kalkış torkuna göre ise bu sorunun hesabı biraz daha karışıktır. Şöyle ki:

Aşağıdaki tork formülünde  $s = 1$ , aynı voltaj ve aynı frekans için sağdaki kesir kısmı oranı belirler. Önce verilen parametreler için, sonra da rotor direncini (dolayısıyla yansıtılmışını) iki katına çıkararak bu kesir değerini buluruz:

$$T_m = \frac{3 V_{Th}^2}{s \omega_s} \cdot \frac{r'_{2Top}}{\left(R_1 + \frac{r'_{2Top}}{s}\right)^2 + \left(X_1 + X'_2\right)^2}$$

$$\frac{r'_2}{\left(r_1 + r'_2\right)^2 + \left(x_1 + x'_2\right)^2} = 0,00457$$

$$\frac{(2r'_2)}{\left(r_1 + (2r'_2)\right)^2 + \left(x_1 + x'_2\right)^2} = 0,00892$$

$892/457 = 1,95$  katı.

3)  $X_s^{\text{doymuş}} = \frac{380V/\sqrt{3}}{68,4A} = 3,21 \Omega$        $X_s^{\text{doymamış}} = \frac{120V/\sqrt{3}}{17,1A} = 4,05 \Omega$

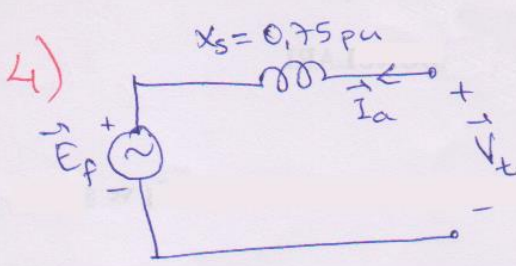
$I_a^{\text{anna}} = \frac{37 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 380V} = 56,2 \text{ A}$       →      KDK'da  $I_a = \frac{1,2A}{68,4} \times 56,2 = 0,986 \text{ A}$

$kdo = \frac{1,2A}{0,986A} = 1,217$

$Z_{\text{taban}} = \frac{380V/\sqrt{3}}{56,2A} = 3,90 \Omega$        $X_s^{\text{doymuş}} = \frac{3,21}{3,90} \text{ pu} = 0,823 \text{ pu}$

Ya da kısaca  $X_s^{\text{doymamış}} = \frac{4,05}{3,90} \text{ pu} = 1,039 \text{ pu}$

$X_s^{\text{doymuş}} = \frac{1}{kdo} (\text{pu}) = \frac{1}{1,217} = 0,823 \text{ pu}$



$$\vec{V}_t = 1,00 \text{ pu } \angle 0^\circ \quad \leftarrow \text{keyfi}$$

$\hookrightarrow$  anma gerilimi denmiş

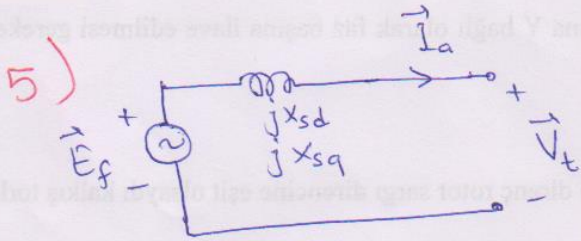
$$\vec{I}_a = 0,50 \text{ pu } \angle 0^\circ \quad \leftarrow \text{birim g.f. dendiği için } \vec{V}_t \text{ eksenine aygı.}$$

$\hookrightarrow$  yarı yük anma geriliminde dendiği için

$$\vec{E}_f = \vec{V}_t - jX_s \vec{I}_a = 1,00 + j0 - j0,75 \times (0,50 + j0) = 1 - j0,375 \text{ pu}$$

$$\vec{E}_f = 1,068 \text{ pu } \angle -20,56^\circ$$

$$P_{\max} = \frac{E_f V_t \sin 90^\circ}{X_s} = \frac{1,068 \times 1,00}{0,75} \text{ pu} = 1,424 \text{ pu}$$



$$\vec{V}_t = 1,00 \text{ pu } \angle 0^\circ$$

$$\cos^{-1} 0,65 = 49,46^\circ = \varphi$$

$$\vec{I}_a = 0,50 \text{ pu } \angle -49,46^\circ = 0,325 - j0,380 \text{ pu}$$

$\hookrightarrow$  anma geriliminde yarı yükte dendiği için.

$$\vec{E}'_f = 1 + j0 + j0,70 \times (0,325 - j0,380) \text{ pu}$$

$$\vec{E}'_f = 1,266 + j0,2275 = \underbrace{1,286 \text{ pu}}_{E'_f} \angle 10,19^\circ \quad \leftarrow \delta$$

$$I_d = I_a \sin(\varphi + \delta) = 0,50 \text{ pu} \cdot \sin(49,46^\circ + 10,19^\circ) = 0,4315 \text{ pu}$$

$$E_f = 1,286 \text{ pu} + (0,85 - 0,70) \times 0,4315 \text{ pu} = 1,351 \text{ pu}$$

$$\boxed{\vec{E}'_f = 1,351 \text{ pu } \angle 10,19^\circ}$$