

ELEKTRİK MAKİNELERİ
TRANSFORMATÖRLER
VE
ASENKRON MAKİNELER'de
ÇÖZÜMLÜ PROBLEMLER

TRANSFORMATÖR PROBLEMLERİ

ElektrikBilim.Com
Elektrik Elektronik Bilim Teknik Paylaşım Platformu

x, 40 kVA gücünde 6300/400 V'luk yıldız/yıldız bağlı, üç fazlı 50 Hz'lik transformatörün $u_{kn} = \%4$, demir kayıpları $P_{fe} = 160$, anma akımında bakır kayıpları 960 W'dır. Transformatörün primerinde 2500 sarım vardır. Demir çekirdekte bir bacağın kesiti 64 cm^2 olup kare şeklindedir.

- a) Gerilim düşümü ihmal edilerek bir bacadaki magnetik akıyı ve magnetik endüksiyonu hesap ediniz.
- b) Bu transformatörün yarı yükünde $\cos\phi = 0.8$ endüktif çalışmaktadır. Bu verimini hesaplayınız.

ÇÖZÜM

a) Sorunun bu şıkında gerilim düşümünün ihmal edilmesi isteniyor. Bu durumda makinaya uygulanan gerilim endüklenen elektromotor kuvvetine eşit olacaktır. Yani $V_1 = E_1$ olacaktır.

$V_1 = E_1 = 4,44 \times f_1 \times \phi_m \times N_1$ formülünden bir bacakta dolaşacak olan akıyı yani faydalı akıyı hesaplayabiliriz.

$$\phi_m = \frac{V_1}{4,44 \times f_1 \times N_1} = \frac{6300/\sqrt{3}}{4,44 \times 50 \times 2500} = 6,6 \times 10^{-3} \text{ Wb} \leftarrow$$

V_1 gerilimi $6300/\sqrt{3}$ alınmasının nedeni makina yıldız bağlı durumda bir faz sargısına düşen gerilim değeri faz faz arası gerilimini $\sqrt{3}$ 'de biri kadar olmasıdır. Sorularda ve makinların plakalarında aksi belirtilmedikçe faz faz arası gerilim verilir.

$$\text{Magnetik endüksiyon ise } \Phi = B \times A \Rightarrow B = \frac{\Phi}{A} = \frac{6,6 \times 10^{-3}}{64 \times 10^{-4}} = 1.0313 \frac{\text{Wb}}{\text{m}^2} \text{ dir.}$$

Akı yoğunluğu hesabında alanı m^2 cinsine dönüştürdük.

b) Yarı yükünde ve transformatör 0.8 endüktif yük durumunda çalışırken verimi

$$\eta = \frac{x \times S_n \times \cos\phi}{(x \times S_n \times \cos\phi) + P_0 + x^2 \times P_{km}} = \frac{0.5 \times 40 \times 10^3 \text{ VA} \times 0,8}{(0.5 \times 40 \text{ kVA} \times 0,8) + 160 + 0.5 \times 960} = \%97,56$$

Burada x yüklenme faktörü $x = \frac{I_1}{I_{1N}}$ Yarı yük olduğundan $x=0,5$ 'dir.

- 2) Tek fazlı bir transformatörün anma değerleri 3000 VA 380V/220V 'tur. Bu transformatörün demir çekirdeğindeki akı yoğunluğu 1,2 T'dir. Demir çekirdek dikdörtgen kesitli ve boyutları 10 cm, 14 cm ve demir doldurma katsayısı 0.92'dir. Transformatörün faydalı akısını, primer ve sekonder sarım sayılarını hesaplayınız

ÇÖZÜM

Akı yoğunluğu $\Rightarrow B = 1,2 \text{ T}$ veya $\frac{\text{Wb}}{\text{m}^2}$ 'dir. Faydalı akı için en temel formül

$\Phi_m = B \times A$ 'dır. Ancak demir doldurma katsayısı laminasyonlar arasında kalan boşluğu formüle eklemek için gerekli olan bir katsayıdır ve birden küçüktür. Bu durumda

$$A = 10 \times 10^{-2} \times 14 \times 10^{-2} = 0.014 \text{ m}^2$$

$$\Phi_m = k_{fdk} \times B \times A = 0,92 \times 1,2 \times 0,014 = 1,5 \text{ mWb}$$

Herhangi bir gerilim düşümü hesabı için bir bilgi olmadığından $E_1 = V_1$ alınacaktır. Sarım sayılarında buradan

$$E_1 = V_1 = 4,44 \times \phi_m \times f \times N_1 \Rightarrow N_1 = \frac{V_1}{4,44 \times \phi_m \times f} = \frac{380}{4,44 \times 1,5 \times 10^{-3} \times 50}$$

$$N_1 = 1141 \text{ sarım}$$

$$E_2 = V_2 = 4,44 \times \phi_m \times f \times N_2 \Rightarrow N_2 = \frac{V_2}{4,44 \times \phi_m \times f} = \frac{220}{4,44 \times 1,5 \times 10^{-3} \times 50}$$

$$N_2 = 661 \text{ sarım}$$

$$\text{Kontrol olarak } \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} \approx 1,72 \text{ olmaktadır.}$$

- 3) 10 kVA gücünde 380 V / 150 V'luk tek fazlı transformatörde kullanılan sargının sarım başına düşen gerilimi 4,4 V akım yoğunluğu 2,5 A/mm² ve pencere boyu 10 cm'dir. Transformatörün faydalı akısını hesaplayınız

ÇÖZÜM

$S = V \times I$ formülünden çıkış gücü 5 kVA olarak verilen transformatörün akımı hesaplanır. Verilen güçler tüm elektrik makinaları için genelde çıkış gücüdür.

$$I = \frac{S}{V} = \frac{10000}{110} = 66 \text{ A}$$

Kullanılan iletkenin akım yoğunluğu 2,5 A/mm²

olarak verilmiştir. Bir iletkenin kesiti geçen akımın iletkenin akım yoğunluğuna oranı ile elde edilir.

$$q = \frac{I}{j} = \frac{66}{2,5} = 26,26 \text{ mm}^2$$

Daire kesitli bir iletken kullanılacağından "Düşük güç ve akım yoğunluklarında daire kesitli yani disk sargı lar kullanılmaktadır.

$$q = \pi \times r^2 = 26,26 = \pi \times r^2 \Rightarrow r = \text{mm} = 0,29 \text{ cm}$$

Pencere boyu 20 cm olduğuna göre pencere boyuna sığacak sarım sayısı



İletkenin çapı $R = 0,19 \times 2 = 0,58 \text{ cm}$

Bir hat boyu sığacak sarım sayısı $\Rightarrow \frac{10}{0,58} \approx 17$

10 cm Bu kadar sarımın oluşturduğu gerilim $17 \times 4,4 \approx 75 \text{ V}$

Bu yüzden bacak etrafına bir kat daha sarım atılmalıdır.

Toplam sarım sayısı 34 olmaktadır.

$$V_2 = V_2 = 4,44 \times N_2 \times f \times \Phi_m \Rightarrow \Phi_m = \frac{110}{4,44 \times 50 \times 34} = 14,6 \times 10^{-3} \text{ Wb}$$

- 4) 15 kVA gücünde 10/0,4 kV'luk tek fazlı transformatörün mıknatıslanma reaktansı 6 kΩ, demir direnci ise 20 kΩ 'dur.

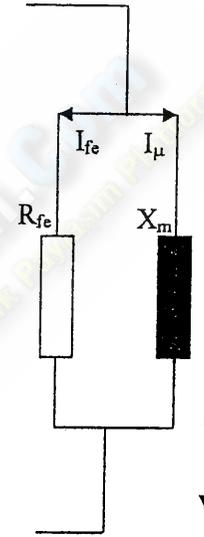
a) Transformatörün boşa çalışma akımını ve bileşenlerini hesaplayınız

b) Boşa güç katsayısını ve aktif, reaktif güç değerlerini hesaplayınız

ÇÖZÜM

Boşa çalışma durumunda transformatörün primer devresini ihmal edebiliriz. Çünkü anma akımında primer devrede meydana gelen gerilim düşümü anma geriliminin % 2-3'ü kadardır. Boşa çalışmada primer devreden geçecek olan boşa çalışma akımı ise anma akımının %1 ' i kadar olduğundan bu çalışma durumunda primer devrede meydana gelen gerilim düşümü ihmal edilebilir düzeydedir.

a)



Demir direnci üzerinden akan akım değeri

$$I_{fe} = \frac{V_1}{R_{fe}} = \frac{4kV}{20k\Omega} = 0,2A$$

Mıknatıslanma reaktans üzerinden akan mıknatıslanma akımı değeri

$$I_{\mu} = \frac{V_1}{X_m} = \frac{4kV}{6k\Omega} = 0,667A$$

Boşa çalışma akımının bileşenleri bilindiğinden boşa çalışma akımı şu şekilde hesaplanabilir.

$$I_0 = \sqrt{I_{fe}^2 + I_{\mu}^2} = \sqrt{0,2^2 + 0,667^2} = 0,696A$$

b) Boşa çalışma güç katsayısı ise

$$\cos \varphi_0 = \frac{I_{fe}}{I_{\mu}} = \frac{0,2}{0,667} = 0,2874 \text{ Derece olarak } \cos \varphi_0^{-1} = 73,29^\circ$$

Bu durumda görünür güç ise ;

$$S_0 = V_1 \times I_0 = 4000 \times 0,696 = 2784VA$$

$$\text{Aktif güç; } \Rightarrow P_0 = S_0 \times \cos \varphi_0 = 2784 \times \cos 73,29 = 800W = 0,8kW$$

Boşa çalışmada yukarıda bulunan aktif güç demir kayıplarının değerinin belirtir.

Reaktif güç; $\Rightarrow Q_0 = S_0 \times \sin \varphi_0 = 2784 \times \sin 73,29 = 2666 \text{ VAr} = 2,6 \text{ kVAr}$

Bu değerde mıknatıslanma reaktansından kaynaklanan reaktif gücü belirtir.

- 5) Gücü 110 kVA olan bir fazlı bir trafonun gerilimi 3300/400 voltur. Şebeke frekansı 50 Hz'dir. Sekonderindeki sarım sayısı 110 olan bu transformatörde tam yükte primer ve sekonder akımlarının yaklaşık değerlerini, primer sarım sayısını ve çekirdek akısının maksimum değerini hesaplayınız.

ÇÖZÜM

Görünür gücü $S=110 \text{ kVA}$ olan bir fazlı transformatörün güç ifadesinden

$$S = V \times I \Rightarrow I_1 = \frac{S_1}{V_1} = \frac{110 \times 10^3}{3300} = 33,33 \text{ A}$$

Kayıplar ihmal edilirse ;

$$S_1 = S_2 \Rightarrow I_2 = \frac{S_2}{V_2} = \frac{110 \times 10^3}{400} = 275 \text{ A}$$

Sarım sayıları ise

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} \Rightarrow \frac{3300}{400} = \frac{N_1}{110} \Rightarrow N_1 = 908 \text{ sarım} \quad N_2 = 110 \text{ sarım}$$

Endüklenen gerilim ifadesinden yola çıkarsak

$$V_1 = E_1 = 4,44 \times \Phi_m \times f \times N_1 \Rightarrow \Phi_m = \frac{3300}{4,44 \times 50 \times 908} = 0,0164 \text{ Wb}$$

- 6) Bir fazlı transformatörün birincil sargısı 182, ikincil sargısı 40 sarımdır Bacak kesiti 460 cm^2 olan demire sarılmıştır. Bu transformatörün boştaki kayıpları 660 W , anma akımındaki kısa devre kayıpları 1440 W 'dir. Sargılardaki kullanılan iletkenin akım yoğunluğu $2,5 \text{ A/mm}^2$ 'dir. Transformatörün gücü 125 kVA , gerilimi $2000/440 \text{ V}$ 'tur. Bağlı boşta çalışma akımı %2,5 ve anma çalışmasındaki güç faktörü $0,8$ 'dir. Aşağıdaki büyüklükleri hesaplayınız.

- a) Magnetik akı, magnetik endüksiyon, sarım başına gerilim
b) Primer ve sekonder akımlarını, primer ve sekonder sargı kesitlerini hesaplayınız
c) Transformatörün anma gücündeki verimi ve boştaki amper-sarımı hesaplayınız.

ÇÖZÜM

- a) Endüklenen gerilim ifadesinden yola çıkarsak

$$V_1 = E_1 = 4,44 \times \Phi_m \times f \times N_1 \Rightarrow \Phi_m = \frac{2000}{4,44 \times 50 \times 182} = 0,0495 \text{ Wb}$$

$$\text{Magnetik endüksiyon ise } \phi = B \times A \Rightarrow B = \frac{\phi}{A} = \frac{49,5 \times 10^{-3}}{460 \times 10^{-4}} = 1,076 \frac{\text{Wb}}{\text{m}^2} \text{ dir}$$

Magnetik endüksiyon birimi Tesla'dır.

$$e_1 = \frac{V_1}{N_1} = \frac{2000}{182} = 10,98 \text{ V/sarım} \quad e_2 = \frac{V_2}{N_2} = \frac{400}{40} = 10 \text{ V/sarım}$$

- b) Görünür güç ifadesinden yola çıkarak

$$S_1 = V_1 \times I_1 \Rightarrow I_1 = \frac{S_1}{V_1} = \frac{125 \times 10^3}{2000} = 62,5 \text{ A}$$

$$\frac{N_1}{N_2} \approx \frac{I_2}{I_1} \Rightarrow I_2 = I_1 \times \frac{N_1}{N_2} = 62,5 \times \frac{182}{40} = 284,37 \text{ A}$$

Kullanılan iletkenin akım yoğunluğu $2,5 \text{ A/mm}^2$ olarak verilmiştir. Bir iletkenin kesiti geçen akımın iletkenin akım yoğunluğuna oranı ile elde edilir.

$$q_1 = \frac{I_1}{j} = \frac{62,5}{2,5} = 25 \text{ mm}^2 \quad q_2 = \frac{I_2}{j} = \frac{284,37}{2,5} = 115 \text{ mm}^2$$

- c) Elektrik makinalarının plakalarında verilen güç değerleri çıkış gücüdür. Bu motor için mil gücü, generatör için elektriksel çıkış gücü, transformatör için ise sekonder sargıdan anma çalışmasında verebileceği çıkış elektriksel güç değeridir.

$$P_{\phi} = S \times \cos \varphi = 125 \times 10^3 \times 0,8 = 100 \text{ kW}$$

Verim ifadesi ise

$$\eta = \frac{P_{\phi}}{P_{\phi} + P_{kayit}} = \frac{P_{\phi}}{P_{\phi} + P_o + P_{fe}} = \frac{100 \times 10^3}{100 \times 10^3 + 660 + 1440} = \% 98$$

Boştaki amper sarımı hesaplayabilmek için boştaki akımın bulunması gerekir.

$$I_0 = i_0 \times I_n = \frac{2,5}{100} \times 62,5 = 1,56 \text{ A}$$

Amper sarım ise

$$F_1 = N_1 \times I_0 = 182 \times 1,56 = \mathbf{284 \text{ Ampersarım}}$$

7) Bacak demir kesiti 245 cm^2 ve maksimum endüksiyon $1,7 \text{ Wb/m}^2$ olan üç fazlı çekirdek tipi transformatörün plakasında 630 kVA , $20/0,4 \text{ kV}$; 50 Hz , D_{y5} yazılıdır. Kullanılan iletkenin akım yoğunluğu 4 A/mm^2 olarak seçildiğine göre

- Anma çalışmasında primer ve sekonder hat ve faz akımlarını
- Primer ve sekonder sarım sayılarını ve iletken kesitlerini
- Sargı başına düşen gerilimlerini hesaplayınız.

ÇÖZÜM

a) Üç fazlı sistemlerde görünür güç ifadesi

$$S = \sqrt{3} \times V_1 \times I_1 \Rightarrow I_{1nh} = \frac{S_1}{\sqrt{3} \times V_1} = \frac{630 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 20 \times 10^3} = \mathbf{18,19 \text{ A}}$$

Primer üçgen bağlı olduğundan elde edilen akım değeri hat akımıdır. Hat akımı faz akımının kök üç katı olduğundan

$$I_{1n} = \frac{I_{1nh}}{\sqrt{3}} = \frac{18,19}{\sqrt{3}} = \mathbf{10,5 \text{ A}}$$

$$S_1 \approx S_2 = \sqrt{3} \times V_2 \times I_{2nh} \Rightarrow I_{2nh} = \frac{S_1}{\sqrt{3} \times V_2} = \frac{630 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 400} = \mathbf{909,3 \text{ A}}$$

$$I_{2h} = I_{2n} = \mathbf{909,3 \text{ A}}$$

b) Akı ifadesinden yola çıkarak

$$\Phi = B \times A = 1,7 \times 245 \times 10^{-4} = \mathbf{0,0417 \text{ Wb}}$$

$$E_1 = V_1 = 4,44 \times \phi_m \times f \times N_1 \Rightarrow N_1 = \frac{V_1}{4,44 \times \phi_m \times f} = \frac{20000}{4,44 \times 41,7 \times 10^{-3} \times 50}$$

$$N_1 = \mathbf{2160 \text{ sarım}}$$

$$E_2 = V_2 = 4,44 \times \phi_m \times f \times N_2 \Rightarrow N_2 = \frac{V_2}{4,44 \times \phi_m \times f} = \frac{400}{4,44 \times 41,7 \times 10^{-3} \times 50}$$

$$N_2 = \mathbf{43 \text{ sarım}}$$

Kullanılan iletkenin akım yoğunluğu 4 A/mm^2 olarak verilmiştir. Bir iletkenin kesiti geçen akımın iletkenin akım yoğunluğuna oranı ile elde edilir.

$$q_1 = \frac{I_1}{j} = \frac{10,5}{4} = \mathbf{2,62 \text{ mm}^2} \quad q_2 = \frac{I_2}{j} = \frac{909,33}{4} = \mathbf{227,3 \text{ mm}^2}$$

$$c) e_1 = \frac{V_1}{N_1} = \frac{20000}{2160} = \mathbf{9,26 \text{ V/sarım}} \quad e_2 = \frac{V_2}{N_2} = \frac{400}{43} = \mathbf{9,3 \text{ V/sarım}}$$

8) Gücü 10 kVA olan bir fazlı mantel tipi transformatörün birincil ve ikincil gerilimleri $1000/220 \text{ V}$ 'tur. Frekansı 50 HZ olan transformatörde kullanılan demir bacak akısının $0,01 \text{ Wb}$ olması durumunda

- Primer ve sekonder sargıların sarım sayılarını ve sarım başına gerilimlerini
- Akım yoğunluğu 4 A/mm^2 için iletken kesitlerini
- Mıknatıslanma eğrisi doymaya gitmeden akı yoğunluğu $1,25 \text{ Wb/m}^2$ için demir kesitlerini bulunuz.

ÇÖZÜM

$$a) E_1 = V_1 = 4,44 \times \Phi_m \times f \times N_1 \Rightarrow N_1 = \frac{V_1}{4,44 \times \Phi_m \times f} = \frac{1000}{4,44 \times 0,01 \times 50}$$

$$N_1 = \mathbf{451 \text{ sarım}}$$

$$E_2 = V_2 = 4,44 \times \Phi_m \times f \times N_2 \Rightarrow N_2 = \frac{V_2}{4,44 \times \Phi_m \times f} = \frac{220}{4,44 \times 0,01 \times 50}$$

$$N_2 = \mathbf{99 \text{ sarım}}$$

$$e_1 = \frac{V_1}{N_1} = \frac{1000}{451} = \mathbf{2,21 \text{ V/sarım}} \quad e_2 = \frac{V_2}{N_2} = \frac{220}{99} = \mathbf{2,22 \text{ V/sarım}}$$

b) Görünür gücü $S=10$ kVA olan bir fazlı transformatörün güç ifadesinden

$$S = V \times I \Rightarrow I_1 = \frac{S_1}{V_1} = \frac{10 \times 10^3}{1000} = 10 \text{ A}$$

Kayıplar ihmal edilirse ;

$$S_1 = S_2 \Rightarrow I_2 = \frac{S_2}{V_2} = \frac{10 \times 10^3}{220} = 45,45 \text{ A}$$

Kullanılan iletkenin akım yoğunluğu 4 A/mm^2 olarak verilmiştir. Bir iletkenin kesiti geçen akımın iletkenin akım yoğunluğuna oranı ile elde edilir.

$$q_1 = \frac{I_1}{j} = \frac{10}{4} = 2,5 \text{ mm}^2 \quad q_2 = \frac{I_2}{j} = \frac{45,45}{4} = 11,36 \text{ mm}^2$$

$$c) \text{ Kesit için } \Phi = B \times A \Rightarrow A = \frac{\Phi}{B} = \frac{0,01}{1,25} = 0,008 \text{ m}^2 = 80 \text{ cm}^2$$

9) 220/110 V'luk bir fazlı transformatörde primer ve sekonder devrelerde yapılan ayrı ayrı ölçümlerde şu değerler görülmüştür.

$$R_1=3\Omega, X_1=3,5\Omega, R_2=0,7\Omega, X_2=0,75\Omega, X_m=55\Omega, R_{fe}=450\Omega$$

Bu transformatörün sekonderine $Z=10+j6 \Omega$ değerinde bir yük bağlanırsa

(L tipi eşdeğer devre kullanılarak)

- Primer ve sekonder akımlarını ve bunların faz açılarını
- Transformatörün şebekeden çektiği aktif ve reaktif güçleri
- Transformatörden çekilen aktif ve reaktif güçleri
- Transformatörün verimini hesaplayınız

ÇÖZÜM

a) Sekonder devrenin parametrelerini primere indirgenirse çözüm kolaylaşır

$$R_2' = R_2 \times \dot{u}^2 = 0,7 \times \left(\frac{220}{110} \right)^2 = 2,8 \Omega$$

$$X_2' = X_2 \times \dot{u}^2 = 0,75 \times \left(\frac{220}{110} \right)^2 = 3 \Omega$$

$$I_{fe} = \frac{V_1}{R_{fe}} = \frac{220}{450000} = 0,0049 \text{ A}$$

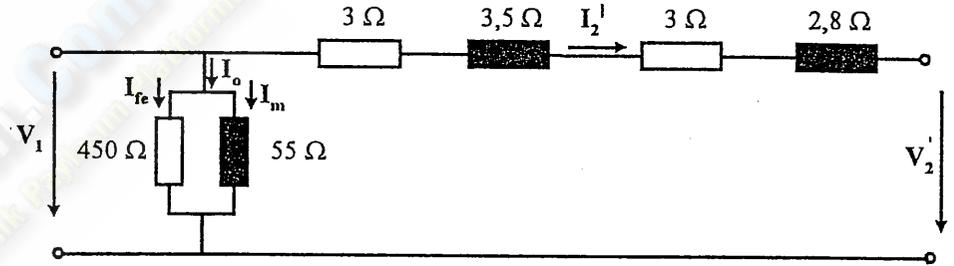
$$I_\mu = \frac{V_1}{X_m} = \frac{220}{5500} = 0,04 \text{ A}$$

$$I_0 = I_{fe} - jI_\mu = 0,0049 - j0,04 \text{ A}$$

Yük empedansında primere indirgenirse

$$R_y' = R_y \times \dot{u}^2 = 2,5 \times 2^2 = 10 \Omega$$

$$X_y' = X_y \times \dot{u}^2 = 1,5 \times 2^2 = 6 \Omega$$



L eşdeğer devrede yük ve indirgenmiş primer ve sekonder parametreleri birbirine seri bağlıdır.

$$Z_1 = 3 + j2,8 + 3,5 + j3 + 10 + j6 = (16,5 + j11,8) \Omega$$

$$\text{Sekonder akımı } I_2' = \frac{V_1}{Z_1}$$

$$I_2' = \frac{220}{16,5 + j11,8} = (8,82 - j6,31) \text{ A} = 10,84 \angle -35,57 \text{ A}$$

$$I_2 = I_2' \times \dot{u} = 10,84 \times 2 = 21,68 \text{ A}$$

Primer akım ise

$$\bar{I}_1 = \bar{I}_0 + \bar{I}_2'$$

$$\bar{I}_1 = (0,0049 - j0,04) + (8,82 - j6,31) = 8,8249 - j6,28 = 10,87 \angle -35,72 \text{ A}$$

b) Şebekeden çekilen aktif ve reaktif güçler ise

$$P_R = V_1 \times I_1 \times \cos \phi$$

$$P_g = 220 \times 10,87 \times \cos 35,72 = 1941,5 \text{ W}$$

$$Q_g = V_1 \times I_1 \times \sin \varphi$$

$$Q_g = 220 \times 10,87 \times \sin 35,72 = 1396,1 \text{ Var}$$

c) Transformatörden çekilen aktif ve reaktif güçler ise

$$P_2 = P_1 - P_{fe} - P_{cul} - P_{cu2}$$

$$P_{fe} = I_{fe}^2 \times R_{fe} = 0,0049^2 \times 45000 = 1,804 \text{ W}$$

$$P_{cul} = I_1^2 \times R_1 = 10,87^2 \times 3 = 354,47 \text{ W}$$

$$P_{cu2} = I_2^2 \times R_2 = 10,84^2 \times 3,5 = 411,27 \text{ W}$$

$$P_2 = 1941,5 - 1,804 - 354,47 - 411,27 = 1173,956 \text{ W}$$

$$d) \text{ verim } \eta = \frac{1173,956}{1941,5} = \% 60$$

10) 220/270 V'luk bir fazlı transformatörün primer ve sekonder tarafından yapılan ayrı ayrı ölçümlerde şu değerler görülmüştür.

$$R_1=4\Omega, X_1=4,6\Omega, R_2=8,7\Omega, X_2=8,8\Omega, X_m=60\Omega, R_{fe}=750\Omega$$

(T tipi eşdeğer devreyi kullanarak)

- Primer ve sekonder akımlarını ve bunların faz açılarını
- Transformatörün şebekeden çektiği aktif ve reaktif güçleri
- Transformatörden çekilen aktif ve reaktif güçleri
- Transformatörün verimini hesaplayınız

ÇÖZÜM

a) Sekonder devrenin parametrelerini primere indirgenirse

$$R'_2 = R_2 \times \dot{u}^2 = 8,89 \times \left(\frac{220}{380}\right)^2 = 0,3 \Omega$$

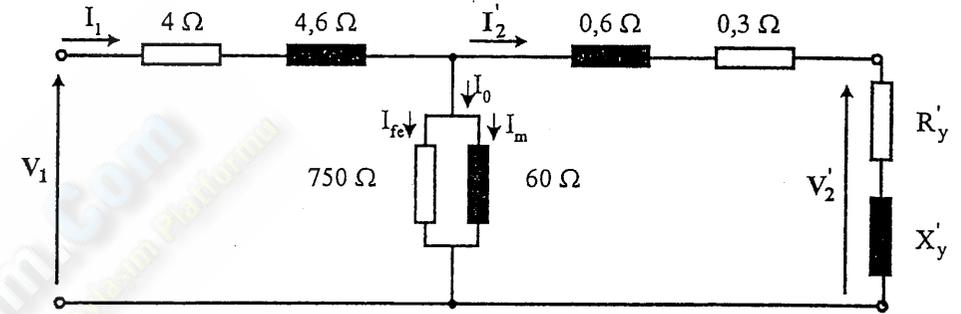
$$X'_2 = X_2 \times \dot{u}^2 = 1,79 \times \left(\frac{220}{380}\right)^2 = 0,6 \Omega$$

Kapasitif karakterli yükün primere indirgenmesi

$$R'_y = R_y \times \dot{u}^2 = 8,4 \times \left(\frac{220}{380}\right)^2 = 2,82 \Omega$$

$$X'_y = X_y \times \dot{u}^2 = 6,27 \times \left(\frac{220}{380}\right)^2 = 2,10 \Omega$$

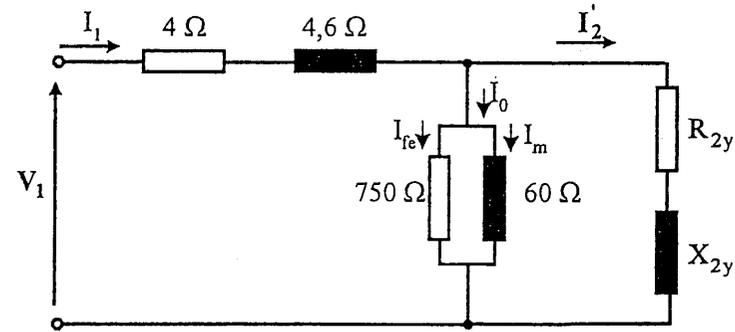
$$Z'_y = R'_y - jX'_y = (2,82 - j2,10) \Omega$$



$$Z_{2y} = R'_2 + jX'_{2\sigma} + R'_y - jX'_{2\sigma}$$

$$Z_{2y} = (0,3 + j0,6 + 2,82 - j2,10) = (3,12 - j1,5) \Omega$$

Elde edilen empedans demir direnç ile mıknatıslanma reaktansı paralel bağlanmıştır.



$$\frac{1}{Z_{21}} = \frac{1}{R_{fe}} + \frac{1}{jX_m} + \frac{1}{Z_{2y}} = \frac{1}{75000} + \frac{1}{j6000} + \frac{1}{3,12 - j1,5}$$

$$Z_{21} = (3,12 - j1,49) \Omega$$

Buradan toplam direnç

$$Z_{1t} = Z_1 + Z_{21}$$

$$Z_{1t} = (0,15 + j0,4 + 3,12 - j1,49) \Omega$$

$$Z_{1t} = (3,27 - j1,09) \Omega$$

Buradan primer akımı

$$I_1 = \frac{V_1}{Z_{1t}} = \frac{220}{3,27 - j1,09} = (60,55 + j20,18) A = 63,82 \angle 18,43^\circ A$$

Primerde indüklenen gerilim ise

$$E_1 = V_1 - I_1 \angle \varphi \times (Z_{1t})$$

Burada akım kapasitif yani gerilimden olduğundan açı pozitif alınmıştır.

$$E_1 = 220 - [(60,55 + j20,18) \times (0,15 + j0,4)] = 218,9 - j27,2 = 220,68 \angle -7,1^\circ$$

Boşta akımını hesaplandıktan sonra primerden bu akımın çıkartılması durumunda sekonder akım hesaplanır.

$$I_{fe} = \frac{E_1}{R_{fe}} = \frac{220,68}{75000} = 0,0029 A$$

$$I_\mu = \frac{E_1}{X_m} = \frac{220,68}{6000} = 0,0367 A$$

$$I_0 = 0,0029 - j0,0367 A$$

$$\bar{I}_2 = \bar{I}_1 - \bar{I}_0 = 60,55 + j20,18 - (0,0029 - j0,0367) = 60,5471 + j20,2167 A$$

$$I_2' = 63,83 \angle 18,46$$

b) Şebekeden çekilen aktif ve reaktif güç

$$P_g = V_1 \times I_1 \times \cos \varphi$$

$$P_g = 220 \times 63,82 \times \cos 18,43 = 13320 W$$

$$Q_g = V_1 \times I_1 \times \sin \varphi$$

$$Q_g = 220 \times 63,82 \times \sin 18,43 = 4440 VAR$$

c) Sekonderden çekilen aktif ve reaktif güçlerin hesaplanabilmesi için sekonder çıkış geriliminin hesaplanması gerekir.

$$V_2' = I_2' \times R_2' = (60,5471 + j20,2167) \times (2,82 - j2,10) = 213,2 - j70,14 V$$

$$V_2' = 224,43 \angle -18,21^\circ$$

Sekonder akım ve gerilimin açıları için referans primer gerilim alınmıştır.

Sekonder gerilim primere göre $18,21^\circ$ geride sekonder akım ise ileridedir.

Buna göre sekonder akım ve gerilim arasındaki açı $36,67^\circ$ olarak hesaplanır.

$$P_\varphi = V_2' \times I_2' \times \cos \varphi_2$$

$$P_\varphi = 224,43 \times 63,83 \times \cos 36,67 = 11490 W$$

$$Q_\varphi = V_2' \times I_2' \times \sin \varphi_2$$

$$Q_\varphi = 224,43 \times 63,83 \times \sin 36,67 = 8550 Var$$

$$d) \eta = \frac{P_\varphi}{P_g} = \frac{11490}{13320} = \% 86$$

11) Frekansı 50 Hz gücü 630 kVA gerilimleri 16/0,4 kV olan Yy_0 bağlı üç fazlı transformatörde birincil ve ikincil sargıların omik dirençleri ile kaçak endüktansları sıra ile $R_1=2,8 \Omega$, $L_1=24,955mH$, $R_2=1,625 m\Omega$, $L_2=14,48\mu H$ 'dir. Boşta akımı ihmal ederek transformatörün yarı yükte 0,8 endüktif yüklü durumda sekonder sargı ucundaki gerilimin genlik ve faz açısını hesaplayınız.

ÇÖZÜM

Primere indirgenmiş eşdeğer devreyi elde edersek

$$R_1 = 2,8 \Omega$$

$$L_{1\sigma} = 24,955 \times 10^{-3} H$$

$$X_{1\sigma} = 2 \times \Pi \times f \times L_{1\sigma} = 2 \times \Pi \times 50 \times 24,955 \times 10^{-3} \approx 7,84 \Omega$$

$$R_2 = 1,625 \times 10^{-3} \Omega$$

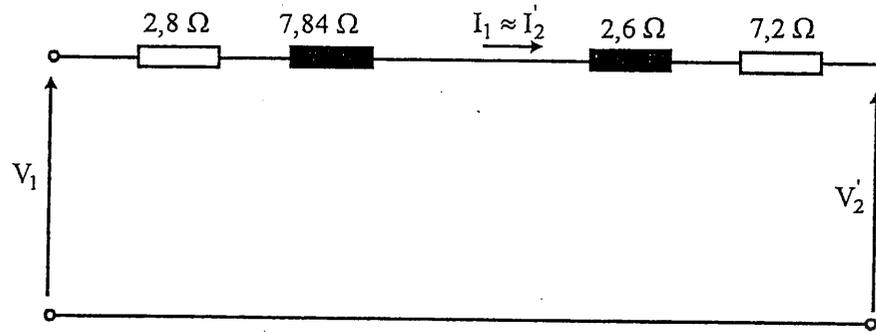
$$\text{Dönüştürme oranı } \dot{u} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{16000}{400} = 40$$

$$R_2' = R_2 \times \dot{u}^2 = 1,625 \times 10^{-3} \times 40^2 \approx 2,6 \Omega$$

$$L_{2\sigma} = 1448 \times 10^{-6} \text{ H}$$

$$X_{2\sigma} = 2 \times \Pi \times f \times L_{2\sigma} = 2 \times \Pi \times 50 \times 1448 \times 10^{-6} \approx 0,0045 \Omega$$

$$X_{2\sigma}' = X_{2\sigma} \times \dot{u}^2 = 0,0045 \times 40^2 \approx 7,2 \Omega$$



Yarı yükte transformatörün primer tarafından çekilecek olan akım değeri ise ;

$$S = \sqrt{3} \times V_1 \times I_1 \Rightarrow \text{Anma yükünde } I_{1n} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V_1} = \frac{630 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 16000} = 22,73 \text{ A ise}$$

$$\text{Yarı yükünde primerin çektiği akım } I_1 = \frac{22,73}{2} = 11,365 \text{ A}$$

Sekonder uçtaki indirgenmiş gerilim değeri ise

$$V_2' = V_1 + [(I_1 \angle -\phi) \times (R_1 + R_2' + jX_{1\sigma} + jX_{2\sigma}')]]$$

$$V_2' = \frac{16000}{\sqrt{3}} + [11,36 \times (0,8 - j0,6) \times 2,8 + 2,6 + j7,84 + 7,2] \text{ V}$$

$$V_2' = 9086 - j99,87 = 9086,6 \angle -0,63^\circ \text{ V}$$

$$V_2 = \frac{V_2'}{\dot{u}} = \frac{9086,6}{40} = 227,16 \text{ V}$$

$$V_{2fa} = V_2 \times \sqrt{3} = 227,16 \times \sqrt{3} = 393,45 \text{ V}$$

12) Birincil ve ikincil yanlara ilişkin direnç ve kaçak reaktansları ile demir ve mıknatıslanma reaktansları aşağıdaki gibi verilmiş olan bir fazlı transformatörün birincil gerilimi 800 V, ikincil gerilimi ise 240 V'tur. Transformator 50 Hz'lik gerilim ile beslenmektedir.

$$R_1=0,2 \Omega, R_2=0,02 \Omega, X_1=0,6 \Omega, X_2=0,06 \Omega, R_{fe}=5000 \Omega, X_m=800 \Omega \text{ 'dur.}$$

- Birincil yana indirgenmiş T tipi eşdeğer devreyi hesaplayınız
- İkincil yandan 24 kW'lık güç faktörü 0,86 (end) yük bağlanmıştır. Bağlanan yükün direnç değeri 1,63 Ω 'dur. Buna bağlı olarak sekonder kısmında endüklenen gerilimin gerçek değeri ve transformatörün şebekeden çektiği aktif ve reaktif gücü hesaplayınız.
- Bu yük durumunda transformatörün verimini hesaplayınız.

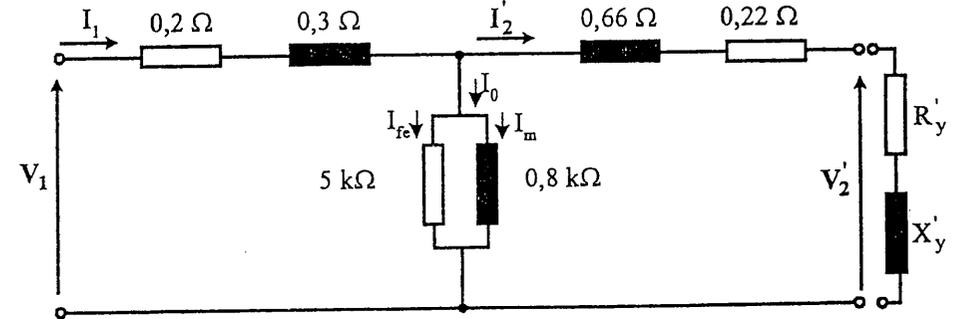
ÇÖZÜM

a) İndirgeme işlemleri sekonder sargı parametreleri için yapılır. Demir direnci ve mıknatıslanma reaktansı primerden ölçülmüş değerlerdir.

$$R_2' = R_2 \times \dot{u}^2$$

$$R_2' = (0,02) \times \left(\frac{800}{240}\right)^2 = 0,22 \Omega$$

$$X_2' = (0,06) \times \left(\frac{800}{240}\right)^2 = 0,66 \Omega$$



b) 21 kW güç çeken 1,63 Ω 'lık direncin çektiği akımı hesaplanırsa

$$P_y = I_2^2 \times r_y \Rightarrow I_2 = \sqrt{\frac{P}{r_y}} = \sqrt{\frac{24000}{1,63}} = 121,34 \text{ A}$$

$$S_y = \frac{P_y}{\cos \phi} = \frac{24000}{0,86} = 27907 \text{ Var}$$

$$S_y = V_2 \times I_2$$

$$V_2 = \frac{S_y}{I_2} = \frac{27907}{121,34} = 230 \text{ V}$$

$$\cos \phi = 0,86 \quad \phi = 30,68$$

Sekonder tarafta indüklenen gerilim için gerekli formül ;

$$E_2 = V_2 + I_2 \angle -\phi (R_2 + jX_{2\sigma})$$

Akım endüktif olduğundan açısı eksi alınmıştır. Çünkü endüktif yüklü durumda gerilim akımdan öndedir. Sekonder gerilim referans alınmıştır.

$$E_2 = 230 + (12,34 \times (\cos 30,68 - j \sin 30,68)) \times (0,02 + j0,06)$$

$$E_2 = 235,87 + j4,99$$

$$E_2 = 235,92 \angle 1,21$$

Şebekeden çekilen gücü bulabilmek için eşdeğer devrenin çözümü gerekmektedir.

Şekil

$$X_y = R_y \times \tan \phi = 1,63 \times \tan 30,68 = 0,96 \Omega$$

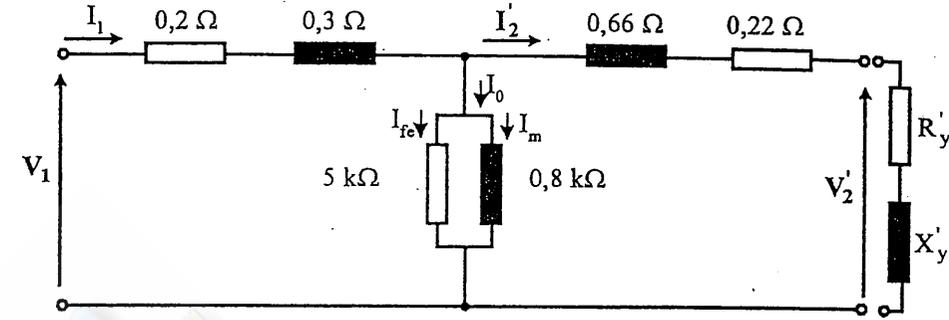
$$R'_y = R_y \times \tan^2 \phi$$

$$R'_y = 1,63 \times \left(\frac{800}{240}\right)^2 = 18,07 \Omega$$

$$X'_y = X_y \times \tan^2 \phi$$

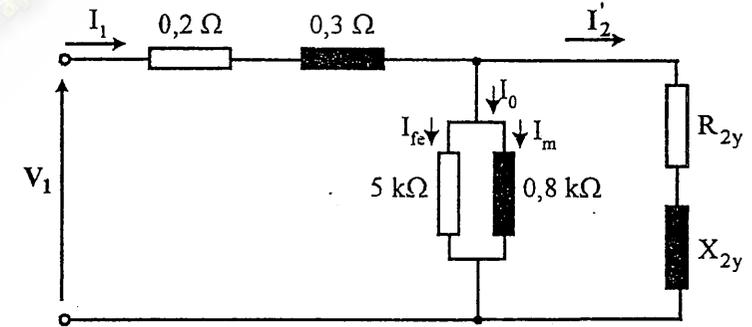
$$X'_y = 0,96 \times \left(\frac{800}{240}\right)^2 = 10,64 \Omega$$

Eşdeğer primere indirgenmiş halinde yük ile sekonder sargı devreleri seri bağlıdır.



$$Z_{2y} = (R'_2 + jX'_{2\sigma}) + (R'_y + X'_y)$$

$$Z_{2y} = (0,22 + j0,66) + (18,07 + j10,64) = 18,29 + j11,30$$



Demir direnci, mıknatıslanma reaktansı ve Z_{2y} birbirlerine paralel bağlıdır.

$$\frac{1}{Z_2} = \frac{1}{R_{fe}} + \frac{1}{jX_m} + \frac{1}{Z_{2y}} = \frac{1}{5000} + \frac{1}{j800} + \frac{1}{18,29 + j11,30}$$

$$Z_2 = 17,98 + j10,72$$

Toplam eşdeğer direnç ise Z_2 ve primer devre elemanlarının seri bağlanmasından oluşur.

$$Z_1 = (R_1 + jX_{1\sigma}) + Z_2$$

$$Z_1 = 0,2 + j0,6 + 17,98 + j10,72 = 18,18 + j11,32 = 21,42 \angle 31,90^\circ$$

$$I_1 = \frac{V_1}{Z_1} = \frac{800 \angle 0^\circ}{21,42 \angle 31,90^\circ} = 37,35 \angle -31,90 \text{ A}$$

$$P_1 = V_1 \times I_1 \times \cos \varphi = 800 \times 37,35 \times \cos 31,90^\circ = 25367 \text{ W}$$

$$Q_1 = V_1 \times I_1 \times \sin \varphi = 800 \times 37,35 \times \sin 31,90^\circ = 1579 \text{ Var}$$

c) Verim ifadesi en basit olarak

$$\eta = \frac{P_f}{P_g} = \frac{24000}{25367} = \% 94,61$$

13) Eşdeğer devre parametreleri $R_1=1\Omega$, $X_1=2\Omega$, $R_2'=1,4\Omega$, $X_2'=1,8\Omega$, $X_m=1100\Omega$, $R_{fe}=6400\Omega$ olan bir fazlı transformatörün boşa primer gerilimi 220 volt, sekonder gerilimi 22 voltur.

- Sekonder tarafa ait parametrelerin gerçek değerlerini hesaplayınız
- Boşa çalışma, demir ve mıknatıslanma akımlarını ve boşa çalışmada transformatörün kayıplarını hesaplayınız.
- Transformatör gerilimi değişmeyen şebekeye bağlanıyor ve empedansı $Z_y=0,5+j0,3\Omega$ olan bir yükü beslemektedir. Bu çalışma koşulunda T eşdeğer devreyi kullanarak transformatörün sekonder gerilimi ve sekonder taraftan çekilen aktif ve reaktif güçleri hesaplayınız.

ÇÖZÜM

a) Sekonder sargının gerçek değerleri için ilk olarak dönüştürme oranı elde edilir.

$$\dot{u} = \frac{220}{22} = 10$$

$$R_2 = \frac{R_2'}{\dot{u}^2} = \frac{1,4}{10^2} = 0,014 \Omega$$

$$X_2 = \frac{X_2'}{\dot{u}^2} = \frac{1,8}{10^2} = 0,018 \Omega$$

Boşa çalışma akımı için boşa çalışma durumundaki eşdeğer devrenin çözümü yapılır.

Şekil

Demir direnci ve mıknatıslanma reaktansı paralel bağlı olduğundan

$$\frac{1}{Z_0} = \frac{1}{R_{fe}} + \frac{1}{jX_m} = \frac{1}{6400} + \frac{1}{j1100}$$

$$Z_0 = 183,64 + j1068,4$$

Primer devre parametreleri Z_0 ile seri bağlıdır. Sonuçta boşa çalışma durumundaki eşdeğer empedans

$$Z_{10} = Z_1 + Z_0$$

$$Z_{10} = 1 + j2 + 183,64 + j1068,4 = 184,64 + j1070,4 = 1088,4 \angle 80,18$$

$$I_0 = \frac{V_1}{Z_{10}} = \frac{220 \angle 0^\circ}{1088,4 \angle 80,18} = 0,2021 \angle -80,18^\circ$$

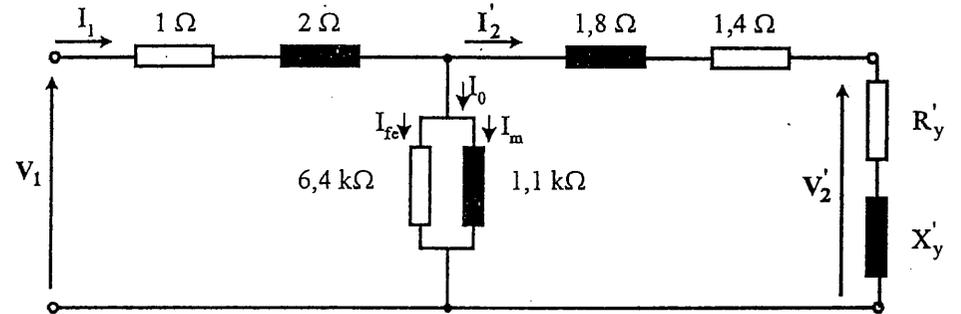
$$I_{fe} = I_0 \times \cos 80,18 = 0,0345 \text{ A}$$

$$I_\mu = I_0 \times \sin 80,18 = 0,199 \text{ A}$$

$$P_0 = (I_0^2 \times R_1) + (I_{fe}^2 \times R_{fe}) = (0,2021^2 \times 1) + (0,0345^2 \times 6400) = 7,658 \text{ W}$$

$$Q_0 = P_0 \times \tan \varphi_0 = 7,658 \times \tan 80,18 = 44,230 \text{ Var}$$

c)



Yukarıdaki eşdeğer devre için yük empedansını primere indirgenmesi gerekiyor.

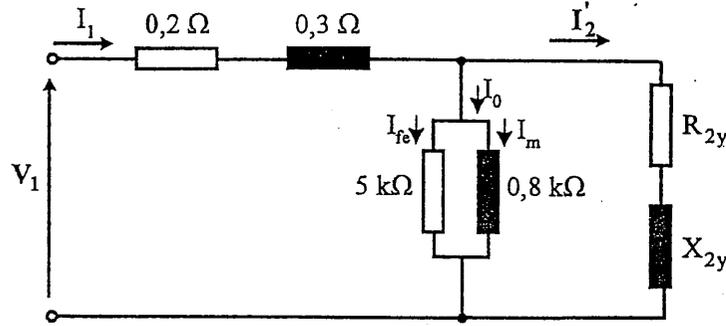
$$R'_y = R_y \times \bar{u}^2 = 0,5 \times 10^2 = 50 \Omega$$

$$X'_y = X_y \times \bar{u}^2 = 0,3 \times 10^2 = 30 \Omega$$

Yük empedansı ile sekonder devre parametreleri birbirine seri bağlıdır.

$$Z_{2y} = Z_2 + Z'_y$$

$$Z_{2y} = (1,4 + j1,8) + (50 + j30) = (51,4 + j31,8) \Omega$$



Hesaplanan empedans ile demir direnci ve mıknatıslanma reaktansı paralel bağlıdır.

$$\frac{1}{Z_{1y}} = \frac{1}{R_{fe}} + \frac{1}{jX_m} + \frac{1}{Z_{2y}} = \frac{1}{6400} + \frac{1}{j1100} + \frac{1}{51,4 + j31,8}$$

$$Z_{1y} = 48,25 + j32,61$$

Hesaplanan empedans değeri primer ile seri bağlıdır.

$$Z_{1t} = Z_1 + Z_{1y} = 1 + j2 + 48,25 + j34,61 = (49,25 + j36,61) \Omega$$

$$Z_{1t} = 60,20 \angle 35,10^\circ$$

Transformatörün giriş güç faktörü $\varphi = 35,10^\circ \cos \varphi = 0,81$ (endüktif)

$$I_1 = \frac{V_1}{Z_{1t}} = \frac{220 \angle 0^\circ}{60,20 \angle 35,10^\circ} = 3,65 \angle -35,10^\circ$$

Transformatörde indüklenen gerilim

$$E_1 = V_1 - (I_1 \angle -\varphi) \times (R_1 + jX_{\sigma 1})$$

Akım endüktif olduğundan eksi alınmıştır.

$$E_1 = 220 - [(3,65) \times (\cos 35,10 - \sin 35,10) \times (1 + j2)]$$

$$E_1 = 212,8 - j3,86 \text{ V}$$

$$\bar{I}_2 = \bar{I}_1 - \bar{I}_0$$

$$I_0 = 0,0345 - j0,199 \text{ A}$$

$$I_2' = (2,98 - j2,098) - (0,0345 - j0,199) = 3,50 \angle -32,8$$

Buradan yola çıkarak sekonder gerilimi şu şekilde hesaplarız

$$V_2' = E_2 - (I_2' \angle -\varphi) \times (R_2' + jX_2')$$

$$V_2' = (212,8 - j3,86) - (2,95 - j1,89) \times (1,4 + j1,8) = 205,27 - j6,52 = 205 \angle -1,82$$

$$V_2 = \frac{V_2'}{\bar{u}} = \frac{205,37}{10} = 20,537 \text{ V}$$

Sekonder tarafın gerilimi ile akımının açıları fazörel olarak eksi çıkmıştır.

Çünkü referans olarak primer gerilimi alınmıştır. Sekonder gerilimin açısı $-1,82$ ve akımın açısı $-32,81$ çıkmıştır Bu durumda sekonder kısmın güç

faktörü yani gerilimi ile akımı arasındaki açı $30,99$ olarak bulunur Bu

durumda sekonder taraftan çekilen aktif ve reaktif güç

$$P_2 = V_2' \times I_2' \times \cos \varphi$$

$$P_2 = 205,37 \times 3,50 \times \cos 30,99^\circ = 616,19 \text{ W}$$

$$Q_2 = 205,37 \times 3,50 \times \sin 30,99^\circ = 370,099 \text{ Var}$$

Verim ise

$$P_1 = 220 \times 3,65 \times \cos 35,10^\circ = 656,97 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_g}{P_g} = \frac{P_2}{P_1} = \frac{616,19}{656,97} = \% 94$$

14) Eşdeğer devre parametreleri $R_1=0,2\Omega$, $X_{1\sigma}=0,3\Omega$, $R_2=0,025\Omega$, $X_{2\sigma}=0,075\Omega$

$R_{fe}=45 \text{ k}\Omega$, $X_m=5 \text{ k}\Omega$ olan 220/110 V'luk bir fazlı transformatörde L eşdeğer

devreyi kullanarak

a) Yaklaşık eşdeğer devreyi çiziniz ve sekonder devre parametrelerini

primere indirgeyiniz

- b) Sekonder devreye bağlanan yükün primere indirgenmiş değeri $44,72+j32,01$ ohm olarak verildiğine göre yaklaşık eşdeğer devreyi kullanarak mıknatıslanma akımını, primer akımını, yük akımını, primer ve sekonder bakır kayıplarını hesaplayınız.

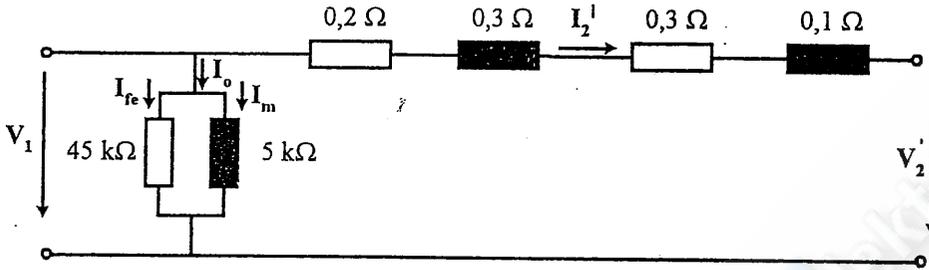
ÇÖZÜM

- a) Sekonder sargının gerçek değerleri için ilk olarak dönüştürme oranı elde edilir.

$$\bar{u} = \frac{220}{110} = 2$$

$$R'_{2\sigma} = R_2 \times \bar{u}^2 = 0,025 \times 2^2 = 0,1 \Omega$$

$$X'_{2\sigma} = X_{2\sigma} \times \bar{u}^2 = 0,075 \times 2^2 = 0,3 \Omega$$



- b) L eşdeğer devreye göre

$$I_{fe} = \frac{V_1}{R_{fe}} = \frac{220}{45000} = 0,0049 \text{ A}$$

$$I_{\mu} = \frac{V_1}{X_m} = \frac{220}{5000} = 0,044 \text{ A}$$

Sekonder sargıdan geçen primere indirgenmiş akımı hesaplamak için sekonder sargı ve yük empedansının toplam empedansı bulunması gerekmektedir. Bulunan değer primer devreye seri bağlı olduğundan primer gerilimi empedansa bölerek hesaplayabiliriz.

$$Z_T = Z_k + Z'_y = (0,2 + j0,3 + 0,1 + j0,3) + (44,72 + j32,01)$$

$$Z_T = 45,02 + j32,61$$

$$I'_2 = \frac{V_1}{Z_T} = \frac{220}{45,01 + j32,61} = 3,21 - j2,32 \text{ A}$$

Primer akım ise

$$\bar{I}_1 = \bar{I}_0 + \bar{I}'_2$$

$$\bar{I}_1 = (0,0049 - j0,044) + (3,21 - j2,32) = 3,2149 - j2,364 \text{ A} = 3,99 \angle -36,33 \text{ A}$$

$$P_{cu1} = I_1^2 \times R_1 = 3,99^2 \times 0,2 = 3,133 \text{ W}$$

$$P_{cu2} = (I'_2)^2 \times R_2 = 3,96^2 \times 0,1 = 1,568 \text{ W}$$

$$V'_2 = V_1 - \Delta V = V_1 - (I'_2 \times (R_1 + jX_{\sigma 1} + R'_2 + jX'_{2\sigma}))$$

$$V'_2 = 220 - [(3,21 - j2,32) \times (0,2 + j0,3 + 0,1 + j0,3)]$$

$$V'_2 = 217,6 - j1,23 = 217,64 \angle -0,3^\circ$$

$$V_2 = \frac{V'_2}{\bar{u}} = \frac{217,64}{2} = 108,82 \text{ V}$$

- 15) Eşdeğer devre parametreleri $R_1=8,8\Omega$, $X_1=270\Omega$, $R'_2=8,6\Omega$, $X'_2=276\Omega$, $X_m=45k\Omega$, $R_{fe}=484k\Omega$ olan 3 fazlı Δ/Y bağlı transformatörün anma gerilimi 20/0,4 kV, gücü 400 kVA'dır. L tipi eşdeğer devreyi kullanarak

- a) Demir, mıknatıslanma ve boşa çalışma akımlarını hesaplayınız
b) Transformatör gerilimi değişmeyen şebekeden 400 kVA $\cos\phi=0,8$ (end) güç çekmektedir. Bu çalışma durumunda sekonder akımını, sekonderden çekilen aktif, reaktif güçleri ve verimi hesaplayınız.

ÇÖZÜM

- a) L eşdeğer devreyi kullanarak

$$I_{fe} = \frac{V_1}{R_{fe}} = \frac{20000}{484000} = 0,0413 \text{ A}$$

$$I_{\mu} = \frac{V_1}{X_m} = \frac{20000}{45000} = 0,44 \text{ A}$$

$$I_0 = I_{fe} - jI_{\mu} = 0,0413 - j0,44 = 0,442 \angle -84,63^{\circ}$$

b) Görünür güç ifadesinden primerden çekilen akım hesaplanır.

$$S = 3 \times V_1 \times I_1$$

Bu formülden fazdan geçen akım hesaplanır.

$$I_1 = \frac{S}{3 \times V_1} = \frac{400 \times 10^3}{3 \times 20 \times 10^3} = 6,67 \text{ A } \cos \varphi = 0,8$$

$$\bar{I}_1 = I_1 \cos \varphi - jI_1 \sin \varphi = (5,34 - j4)$$

$$\bar{I}_2 = \bar{I}_1 - \bar{I}_0 = (5,34 - j4) - (0,0413 - j0,44) = 6,38 \angle -33,89 \text{ A}$$

$$V_2' = V_1 - \Delta V = V_1 - (I_2' \times (R_1 + jX_{\sigma 1} + R_2' + jX_{\sigma 2}'))$$

$$V_2' = 20000 - [(5,298 - j3,56) \times (8,8 + j270 + 8,6 + j276)]$$

Transformatörün primer tarafı üçgen bağlı

$$V_2' = 17960 - j2830 \text{ V}$$

$$V_2' = 18,18 \angle -8,96 \text{ kV}$$

Sekonder gerilimin açısı $-8,96$, sekonder akımın açısı ise $-33,89$. Referans olarak primer gerilim alınmıştır. Sekonder gerilim ile akım arasındaki açı ise $27,51$ 'dir.

$$S_2 = 3 \times V_2' \times I_2' = 3 \times 18,18 \times 6,38 = 347,97 \text{ kVA}$$

$$P_2 = S_2 \times \cos \varphi_2 = 347,97 \times \cos 27,51 = 308,62 \text{ kW}$$

$$Q_2 = S_2 \times \sin \varphi_2 = 347,97 \times \sin 27,51 = 160,72 \text{ kVAR}$$

$$\eta = \frac{P_{\phi}}{P_g} = \frac{308,62 \text{ kW}}{400 \text{ kVA} \times 0,8} = \% 96$$

16) Bir fazlı transformatörün 50 Hz'de yapılan boşa çalışma deneyinde primer sargıdaki voltmetreden 220 V ampermetreden 23 A ve vatmetreden de ise 500 W okunmuştur. 50 Hz'de yapılan kısa devre deneyinde ise primer voltmetreden 19,3 V, ampermetreden 150 A ve vatmetre ise 1250 W göstermiştir. Transformator 50 Hz'lik şebekeye bağlı çalışacak ise gerekli olan primere indirgenmiş devre parametrelerini ve gerçek değerlerini hesaplayınız.

ÇÖZÜM

Boşa çalışma deneyi;

Bir fazlı transformatörde aktif güç ifadesi

$$P_0 = V_{10} \times I_0 \times \cos \varphi_0 \Rightarrow \cos \varphi_0 = \frac{P_0}{V_{10} \times I_0} = \frac{500}{220 \times 23} = 0,098$$

$$\varphi_0 = 84,32^{\circ}$$

$$I_{fe} = I_0 \times \cos \varphi_0 = 23 \times \cos 84,32 = 2,27 \text{ A}$$

$$I_{\mu} = I_0 \times \sin \varphi_0 = 23 \times \sin 84,32 = 22,88 \text{ A}$$

Demir direnci;

$$R_{fe} = \frac{V_1}{I_{fe}} = \frac{220}{2,27} = 96,91 \Omega$$

Mıknatıslanma reaktansı ;

$$X_m = \frac{V_1}{I_{\mu}} = \frac{220}{2,27} = 9,6 \Omega$$

Kısa devre deneyi

$$P_{kn} = V_k \times I_{In} \times \cos \varphi_k \Rightarrow \cos \varphi_k = \frac{P_{kn}}{V_k \times I_{In}} = \frac{1250}{19,3 \times 150} = 0,43 \Rightarrow$$

$$\varphi_k = 64^{\circ}$$

Kısa devre empedansı ise;

$$Z_k = \frac{V_k}{I_n} = \frac{19,3}{150} = 0,128 \Omega$$

Kısa devre durumunda orta bacak ihmal edildiğinden

$$R_k = Z_k \times \cos \varphi_k = 0,128 \times \cos 64 = 0,055 \Omega$$

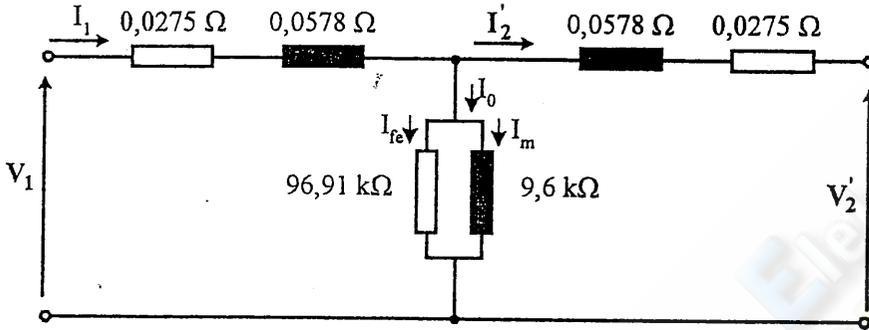
$$R_1 = R_2 = \frac{R_k}{2} = 0,0275 \Omega$$

Sekonder sargının gerçek direnci ise

$$R_2 = \frac{R_2'}{\dot{u}} = \frac{0,0275}{\frac{220}{3000}} = 0,037 \Omega$$

$$X_k = Z_k \times \sin \varphi_k = 0,128 \times \sin 64 = 0,1155 \Omega$$

$$X_1 = X_2 = \frac{X_k}{2} = 0,0578 \Omega$$



Sekönder sargının gerçek direnci ise

$$R_2 = \frac{R_2'}{\dot{u}} = \frac{0,0275}{\frac{220}{3000}} = 0,037 \Omega$$

Sekönder sargının gerçek reaktansı ise

$$X_2 = \frac{X_2'}{\dot{u}} = \frac{0,0578}{\frac{220}{3000}} = 0,06570 \Omega$$

17) Anma değerleri $V_{1N}=220$ V, $U_{2N}=110$ V, $I_{1N}=22,7$ A, $I_{2N}=45,5$ A, $S_N=5$ kVA, $u_{kn}=\%4,9$ olan tek fazlı bir transformatörün boşa ve kısa devre çalışma deneyleri sonucunda ölçülen değerler şunlardır.

Boşa çalışma :

$$V_{10}=220$$
 V, $I_0=2,4$ A, $P_0 \Rightarrow U=300$ V, $I=5$ A, $\alpha=7$, $\alpha_{MAX}=150$, $k_I=2,5/5$

Kısa devre çalışma :

$$U_k=10,8$$
 V, $I_k=22$ A, $P_k \Rightarrow U=15$ V, $I=5$ A, $\alpha=60$, $\alpha_{MAX}=150$, $k_I=25/5$;

(“ α = Analog Vatmetrenin gösterdiği değer

α_{MAX} = Analog Vatmetrenin skalası

k_I = Akım transformatörünün dönüştürme oranı “)

- Transformatörün eşdeğer devre parametrelerini
- $\frac{3}{4}$ yüklü durumda $\cos \varphi=0,8$ (end) olduğu çalışma koşullarında verimini hesaplayınız

ÇÖZÜM

Verilen veriler analog bir vatmetreden alınmıştır. Analog vatmetreden alınan sonuçlar basit bir orantı mantığı ile hesaplanır. Vatmetrenin maksimum taksimat aralığının ölçülen taksimat oranı bize güç değerini verir. Bunun için elbette vatmetrenin gerilim ve akım uçlarının değerleri de önemlidir. Buradan kullanılacak formül aşağıdaki gibidir.

$$P_0 = \frac{V_{\max} \times I_{\max}}{\alpha_{\max}} \times \alpha \times k_1$$

Bu formülde V_{\max} vatmetrenin maksimum giriş gerilim değeri, I_{\max} maksimum giriş akım değeri, α_{\max} vatmetrenin taksimat aralığı, α ise deney esnasında görülen taksimattır. k_1 ise akım veya gerilim transformatörü kullanılmış ise bunların dönüştürme oranıdır. Hem akım hem de gerilim transformatörü kullanılması durumunda her ikisinin dönüştürme oranları çarpılıp yazılır.

a) Boşta Çalışma Deneyi

$$P_0 = \frac{V_{\max} \times I_{\max}}{\alpha_{\max}} \times \alpha \times k_1 = \frac{300 \times 5}{150} \times 7 \times \frac{2,5}{5} = 35 \text{ W}$$

Tek fazlı sistemlerde güç ifadesi

$$P_0 = V_1 \times I_0 \times \cos \varphi_0 \Rightarrow \cos \varphi_0 = \frac{P_0}{V_1 \times I_0} = \frac{35}{220 \times 2,4} = 0,06 \Rightarrow \varphi_0 = 86^\circ$$

Demir akımı;

$$I_{fe} = I_0 \times \cos \varphi_0 = 2,4 \times \cos 86 = 0,1590 \text{ A}$$

Mıknatıslanma akımı;

$$I_\mu = I_0 \times \sin \varphi_0 = 2,4 \times \sin 86 = 2,39 \text{ A}$$

Demir direnci;

$$R_{fe} = \frac{V_1}{I_{fe}} = \frac{220}{0,1590} = 1,3 \text{ k}\Omega$$

Mıknatıslanma reaktansı ;

$$X_m = \frac{V_1}{I_\mu} = \frac{220}{2,39} = 92 \Omega$$

Kısa devre deneyi:

Sekonder tarafın kısa devre edilerek, anma akımı geçecek şekilde küçültülmüş gerilim uygulanan bu deneyde kısa devre gücü

$$P_{kn} = \frac{V_{\max} \times I_{\max}}{\alpha_{\max}} \times \alpha \times k_1 = \frac{15 \times 5}{150} \times 60 \times \frac{25}{5} = 150 \text{ W}$$

Kısa devre deneyinde hesaplanan bu güç anma akımındaki bakır kayıplarını verir.

$$P_{kn} = V_k \times I_{1n} \times \cos \varphi_k \Rightarrow \cos \varphi_k = \frac{P_{kn}}{V_{kn} \times I_{1n}} = \frac{150}{10,8 \times 22} = 0,63 \Rightarrow \varphi_k = 50^\circ$$

Kısa devre empedansı ise;

$$Z_k = \frac{V_k}{I_n} = \frac{10,8}{22} = 0,49 \Omega$$

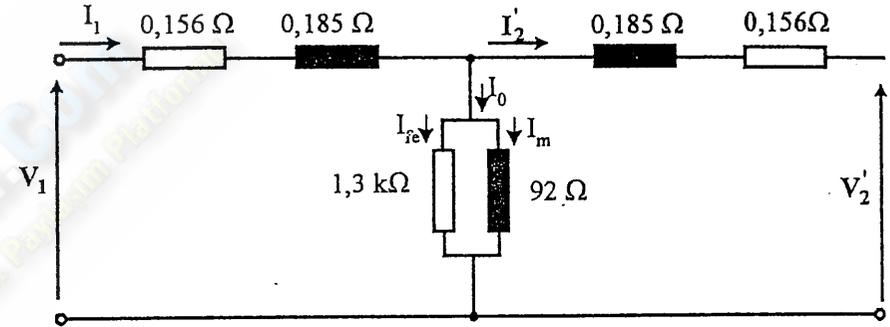
Kısa devre durumunda orta bacak ihmal edildiğinden

$$R_k = Z_k \times \cos \varphi_k = 0,49 \times \cos 50 = 0,312 \Omega$$

$$R_1 = R_2 = \frac{R_k}{2} = 0,156 \Omega$$

$$X_k = Z_k \times \sin \varphi_k = 0,49 \times \sin 50 = 0,37 \Omega$$

$$X_1 = X_2 = \frac{X_k}{2} = 0,185 \Omega$$



b) Verim ifadesi

$$\eta = \frac{\alpha \times S_n \times \cos \varphi}{\alpha \times S_n \times \cos \varphi + P_0 + \alpha^2 P_{kn}}$$

α = yüklenme oranı veya faktörüdür. Bu oran sabit veya anı primer gerilim altında herhangi bir çalışma durumundaki akımın, anma akımına oranı ile belirlenir.

$$\alpha = \frac{I_x}{I_n} = \frac{3}{4}$$

Bu durumda makinanın verimi

$$\eta = \frac{\alpha \times S_n \times \cos \varphi}{\alpha \times S_n \times \cos \varphi + P_0 + \alpha^2 P_{kn}} = \frac{\frac{3}{4} \times 5000 \times 0,85}{\frac{3}{4} \times 5000 \times 0,85 + 35 + 150} = \% 94$$

18) 2300/230 V, 60 kVA gücünde üç fazlı bir transformatörün bağlama şekli $Y\Delta_s$ 'dir.

Transformatörün sekonderine bağlanmış olan yük transformatörün her faz sargısından 100 A çekmekte olup $\cos\varphi_2 = 0,7$ endüktiftir. Bu yükün transformatörden çektiği aktif ve reaktif güç nedir ?

ÇÖZÜM

Transformatörün her faz sargısından 100 A çekilmekte ve sekonder sargı üçgen bağlı durumdadır.

$$I_{2x} = 100 \text{ A ve } \cos\varphi_2 = 0,7 \text{ ise}$$

$$I_{2hx} = I_{2x} \times \sqrt{3} = 100 \times \sqrt{3} = 173,21 \text{ A}$$

x burada herhangi bir yüklenme durumunu göstermektedir.

$$S_2 = \sqrt{3} \times V_2 \times I_2 = \sqrt{3} \times 230 \times 173,21 = 69 \text{ kVA}$$

$$P_2 = \sqrt{3} \times V_2 \times I_2 \times \cos\varphi_2 = \sqrt{3} \times 230 \times 173,21 \times \cos 45^\circ = 48,3 \text{ kW}$$

$$Q_2 = \sqrt{3} \times V_2 \times I_2 \times \sin\varphi_2 = \sqrt{3} \times 230 \times 173,21 \times \sin 45^\circ = 48,75 \text{ kVAr}$$

19) Primeri yıldız bağlı 200 kVA gücünde 15/0,4 kV'luk 50 Hz frekansta çalışan üç fazlı transformatörün boşa iken yapılan deneyinde 550 W güç çektiği gözlenmiştir. Transformatörün bağlı boşa çalışma akımı $i_0 = \%1,9$ 'dur.

a) Demir ve mıknatıslanma akımını, boşa çalışma güç katsayısını ve boşa çalışmada çekilen reaktif ve aktif gücü hesaplayınız

b) Transformatörün demir direncini ve mıknatıslanma reaktansını hesaplayınız

ÇÖZÜM

a) Demir ve mıknatıslanma akımlarını soruda verilen bağlı boşa çalışma akımı ve boşa çalışma gücünden hesaplanır.

$$S_n = \sqrt{3} \times V_{1fa} \times I_{1hn} \Rightarrow I_{1hn} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \times V_{1fa}} = \frac{200 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 15 \times 10^3} = 7,7 \text{ A}$$

Yukarıda hesaplanan akım değeri anma çalışmasındaki hat akımıdır. Çünkü formülde yerleştirilen güç değerleri transformatörün plaka değerleridir. Transformatörün primer kısmı yıldız bağlı olduğundan hat akımı fazdan geçen akıma eşittir. Buradan boşa çalışma akımını hesaplamak için

$$i_0 = \frac{I_0}{I_{1n}} \Rightarrow I_0 = I_{1n} \times i_0 = 7,7 \times \frac{1,9}{100} = 0,1463 \text{ A}$$

Soruda transformatörün boşa çalışması durumunda 55 kW güç çektiği belirtilmiştir. Buradan yola çıkarak;

$$P_0 = \sqrt{3} \times V_{1fa} \times I_{0h} \times \cos\varphi_0 \Rightarrow \cos\varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3} \times V_{1fa} \times I_{0h}} = \frac{550}{\sqrt{3} \times 15000 \times 0,1463}$$

$$\cos\varphi_0 = 0,145 \Rightarrow \varphi_0 = 81,68^\circ$$

Demir direnci üzerinden akan akım

$$I_{fe} = I_0 \times \cos\varphi_0 = 0,1463 \times \cos 81,68 = 0,0212 \text{ A}$$

$$I_\mu = I_0 \times \sin\varphi_0 = 0,1463 \times \sin 81,68 = 0,1448 \text{ A}$$

Boşa çekilen aktif güç soru içersinde verilmiştir. $P_0 = 550 \text{ W}$

Boşa çekilen reaktif güç ise $Q_0 = P_0 \times \tan\varphi_0 = 55000 \times \tan 81,68 = 3,7 \text{ kVAr}$

b) Boşa çalışma akımı düşük bir değerde olduğundan primer devrede meydana gelen gerilim düşümleri ihmal edilebilir. Anma çalışmasında primer devreden anma akımı geçtiği durumda primer devredeki gerilim düşümü toplam gerilim düşümünün % 5'ini oluşturur. Boşa çalışma akımı anma akımının %1 - %2 civarında olduğu düşünülürse primer devrede boşa çalışmada meydana gelecek kayıplar ihmal edilebilir. Bu nedenlerden dolayı boşa çalışma durumunda çekilen aktif güç demir direnci üzerinde harcanmaktadır ve buna demir kaybı da denir. Demir kayıplarından yola çıkarak demir direncini şu şekilde hesaplayabiliriz.

$$P_0 = 3 \times I_{fe}^2 \times R_{fe} \Rightarrow R_{fe} = \frac{P_0}{3 \times I_{fe}^2} = \frac{550}{3 \times 0,0212^2} = 407 \text{ k}\Omega$$

Boşta çalışmada çekilen reaktif güç ise mıknatıslanma reaktansı üzerinde harcanmaktadır.

$$Q_0 = 3 \times I_{\mu}^2 \times X_m \Rightarrow X_m = \frac{Q_0}{3 \times I_{\mu}^2} = \frac{3700}{3 \times 0,1448^2} = 58 \text{ k}\Omega$$

20) 10 kVA gücünde $u_{kn} = \% 4$, 2400/240 V'luk 50 Hz'lik tek fazlı bir transformatörün boştaki demir kayıpları 60 W'dır. Tam yükünde $\cos\phi = 0,8$ endüktif çalışan transformatörde; verimi ve yükteki sekonder gerilimi hesaplayınız.

ÇÖZÜM

Tam yükünde güç faktörü 0,8 endüktif iken verimi;

$$P_0 = 100 \text{ W}$$

Yarı yükündeki bakır 60 W ise,

Anma akımındaki bakır kayıpları ise

$$P_{cun} = \frac{P_{cux}}{\alpha^2} = \frac{60}{(1/4)} = 240 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{\alpha \times S_n \times \cos\phi}{\alpha \times S_n \times \cos\phi + P_0 + \alpha^2 P_{kn}} = \frac{1 \times 10 \times 10^3 \times 0,8}{10 \times 10^3 \times 0,8 + 100 + 1^2 \times 240} = \% 96$$

$$v_m = \frac{P_{cun}}{S_n} = \frac{240}{10000} = \% 2,4$$

$$v_{kn} = \% 4$$

$$v_{kx} = \sqrt{v_{kn}^2 - v_m^2} = \sqrt{4^2 - 2,4^2} = 3,2$$

$$\Delta V = 1 \times [(2,4 \times 0,8) + (3,2 \times 0,6)] = \% 3,84$$

$$V_2' = V_1 \times (1 - \Delta V);$$

$$V_2' = 2400 \times (1 - \frac{3,84}{100}) = 2307,8 \text{ V,}$$

$$\ddot{u} = \frac{2400}{240} = 10$$

$$V_2 = \frac{V_2'}{\ddot{u}} = \frac{2307,8}{10} = 230,78 \text{ V}$$

21) S=20 kVA, Y/Y bağlı 220/110 V 50 Hz'lik üç fazlı transformatörün kısa devre deneyinde voltmetre 16V, ampermetreden 60 A ve vatmetreden 335 W okunmuştur.

a) Transformatörün kısa devre parametrelerini elde ediniz

b) Sekonder kısmın her fazına 0,3+j1,5 Ω yük bağlanmıştır. Bu yük durumunda orta bacağı ihmal ederek şebekeden çekilen akım ve güçleri hesaplayınız.

ÇÖZÜM

a) Transformatörün kısa devre parametreleri primer ve sekonder taraflarına ait dirençler ve kaçak reaktanslarıdır.

Kısa devre deneyi ile ilgili olarak soruda gerilim akım ve güç değerleri verilmiştir.

Üç fazlı sistemin güç ifadesinden yola çıkarak güç faktörü hesaplanır.

$$P_{kn} = \sqrt{3} \times V_{kfa} \times I_{1hn} \times \cos\phi_k$$

$$\cos\phi_k = \frac{P_{kn}}{\sqrt{3} \times V_{1kfa} \times I_{1hn}} = \frac{335}{\sqrt{3} \times 16 \times 60} = 0,2 \Rightarrow \phi_k = 78,46^\circ$$

$$P_k = 3 \times I_{1n}^2 \times R_k \Rightarrow R_k = \frac{P_{kn}}{3 \times I_{1n}^2} = \frac{335}{3 \times 60^2} = 0,03 \Omega$$

$$R_1 = R_2 = \frac{R_k}{2} = 0,015 \Omega$$

Kısa devre deneyinde çekilen reaktif güç ise kaçak reaktanslar üzerinde harcanmaktadır.

$$Q_{kn} = P_{kn} \times \tan\phi_k = 335 \times \tan 78,46 = 1640 \text{ VAR}$$

$$Q_{kn} = 3 \times I_{1fn}^2 \times X_k \Rightarrow X_k = \frac{Q_{kn}}{3 \times I_{1fn}^2} = \frac{1640}{3 \times (60)^2} = 0,152 \Omega$$

$$X_1 = X_2' = \frac{X_k}{2} = 0,076 \Omega$$

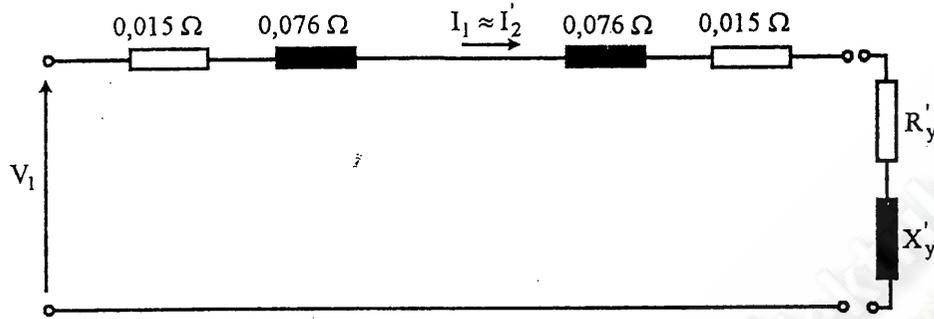
b) Her faza bağlanan bu yük değerini primere indirgeyelim

$$Z_{yük} = R_{yük} + X_{yük} = 0,3 + j1,5 \Omega$$

$$\bar{u} = \frac{220}{110}$$

$$Z'_{yük} = \bar{u}^2 \times Z_{yük} = 2^2 \times (0,3 + j1,5) = 1,2 + j6 \Omega$$

Orta bacak ihmal edilmesi durumunda



$$Z_T = R_k + jX_k + R_y' + jX_y'$$

$$Z_T = 0,03 + j0,152 + 1,2 + j6 = 1,23 + j6,152 \Omega$$

$$I_1 = I_2' = \frac{V_1}{Z_T} = \frac{220/\sqrt{3}}{1,23 + j6,152} = 3,96 - j19,85$$

Primer taraf yıldız bağlı olduğundan eşdeğer devre başına düşen gerilim için faz-faz arası gerilim $\sqrt{3}$ 'e bölünmüştür.

$$I_1 = I_2' = 20,24 \angle -78,69^\circ$$

Yukarıda her faz sargısından geçen akım hesaplanmıştır. Primer taraf yıldız bağlı olduğundan bu akım hat akımına eşittir.

Üç fazlı sistemde aktif güç ifadesi

$$P_1 = \sqrt{3} \times V_1 \times I_1 \times \cos \varphi$$

$$P_1 = \sqrt{3} \times 220 \times 20,24 \times \cos 78,69 = 1500 \text{ W}$$

$$Q_1 = \sqrt{3} \times 220 \times 20,24 \times \sin 78,69 = 7560 \text{ Var}$$

22) 25 MVA 120 kV/ 11 kV, 50 Hz, Yd₅ bağlı bir transformatörde $u_{kn} = \%9$, $u_{Rn} = \%0,5$ veriliyor. Anma gücünde $\cos \varphi = 0,8$ indüktanslı yüklemde birincil ve ikincil hat akımlarını, kısa devre parametrelerini, ikincil gerilimini ve en basit eşdeğer devreyi bulunuz.

ÇÖZÜM

Birincil kısımdan çekilen akımı hesaplamak için

$$S_n = \sqrt{3} \times V_{1fa} \times I_{1hn} \Rightarrow I_{1hn} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \times V_{1fa}} = \frac{25 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 120 \times 10^3} = 120,28 \text{ A}$$

$$I_{1hn} = I_{1n} = 120,28 \text{ A}$$

Hesaplanan hat akımı, primer kısım yıldız bağlı olduğundan aynı zamanda faz akımına eşittir.

Sekonder tarafın akımını iki yoldan elde edeceğiz

1. yol

$$\bar{u} = \text{dönüştürme oranı } \bar{u} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

Dönüştürme oranı eşdeğer devre üzerinden elde edildiğinden verilen gerilimler faz başına gerilim ve akımlarda faz sargılarından geçen akımlardır.

$$\bar{u} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{120 \text{ kV} / \sqrt{3}}{11 \text{ kV}} = \frac{I_2}{120,28} \Rightarrow I_{2n} = 6,298 \times 120,28 = 757,56 \text{ A}$$

Sekonder sargı üçgen bağlı olduğundan hat akımı faz akımının kök üç katıdır.

$$I_{2hn} = 757,56 \times \sqrt{3} = 1312,1 \text{ A}$$

2. yol

$$S_1 \approx S_2 = \sqrt{3} \times V_{2fa} \times I_{2h} \Rightarrow I_{2hn} = \frac{S_2}{\sqrt{3} \times V_{2fa}} = \frac{25 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 11 \times 10^3} = 1312,2 \text{ A}$$

$$\text{Faz akımı ise } I_{2n} = \frac{I_{2hn}}{\sqrt{3}} = \frac{1312,2}{\sqrt{3}} = 757,57 \text{ A}$$

Kısa devre parametreleri için

$$v_m = \frac{I_{1n} \times R_k}{V_{1n}} \Rightarrow R_k = \frac{V_{1n} \times v_m}{I_{1n}} = \frac{\left(\frac{0,5}{100}\right) \times \left(\frac{120 \times 10^3}{\sqrt{3}}\right)}{120,28} = 2,88 \Omega$$

$$I_{1n} = I_{1fn}$$

$$R_1 = R_2 = \frac{R_k}{2} = \frac{2,88}{2} = 1,44 \Omega$$

Kaçak reaktanslar ise

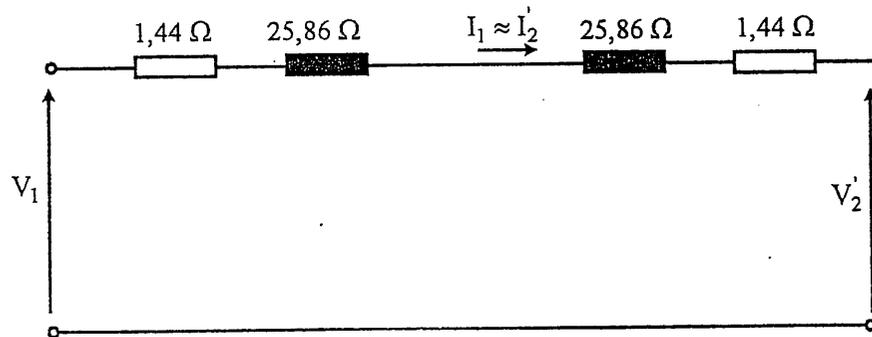
$$v_{xn} = \frac{I_{1n} \times X_k}{V_1} \Rightarrow v_{kn} = \sqrt{v_m^2 + v_{xn}^2} \Rightarrow v_{xn} = \sqrt{v_{kn}^2 - v_m^2}$$

$$v_{xn} = \sqrt{9^2 - 0,5^2} = \%8,98$$

$$X_k = \frac{v_{xn} \times V_{1n}}{I_{1n}} = \frac{\left(\frac{8,98}{100}\right) \times 120 \text{ kV} / \sqrt{3}}{120,28} = 51,72 \Omega$$

$$X_1 = X_2 = \frac{X_k}{2} = 25,86 \Omega$$

En son olarak sekonder gerilimini hesaplayalım. Verilen parametrelerden orta bacağın bu soru için ihmal edilmiş olduğu görülmektedir.



Bu durumda gerilim düşümü $\Delta V = I_{1fn} \times (R_k + jX_k)$

Primere indirgenmiş sekonder gerilim ise ;

$$V_2' = V_1 - \Delta V = \left(\frac{120 \times 10^3}{\sqrt{3}}\right) - [(120,28) \times (0,8 - j0,6) \times (2,88 + j25,86)] \Rightarrow$$

$$V_2' = 67,139 - j2,28 = 67,177 \text{ kV}$$

Gerilimin gerçek değeri ise ;

$$ü = \frac{120000 / \sqrt{3}}{11000} = 6,29$$

$$V_2 = \frac{V_2'}{ü} = \frac{67177}{6,29} = 10,6 \text{ kV}$$

Akım endüktif karakterli olduğundan $I_{1n} \times (\cos \phi - j \sin \phi)$ kompleks formda yazılmıştır.

- 23) 630 kVA gücünde 15/0,4 kV'luk Yy_0 bağlama grubuna sahip üç fazlı bir transformatörün boştaki kayıpları 1300 W ve anma akımındaki bakır kayıpları 6500 W'dır. $u_{kn} = \%4$ ve bağlı boşta çalışma akımı $i_0 = \%1,2$ olduğuna göre transformatörün en basit eşdeğer devresinin parametrelerini, mıknatıslanma akımını ve demir akımını hesap ediniz.

ÇÖZÜM

$$S = 630 \text{ kVA } V_1 = 15 \text{ kV, } V_2 = 400 \text{ V, } Yy_0$$

Boşta çalışma deneyinde gerekli değerleri bulabilmek için bağlı boşta çalışma akımını elde etmek gerekir. Bunun için anma akımını hesaplırsak

$$S_n = \sqrt{3} \times V_{1fa} \times I_{1hn}$$

$$I_{1hn} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \times V_{1fa}} = \frac{630 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 15 \times 10^3} = 24,25 \text{ A}$$

Yıldız bağlı sistem olduğundan hat akımı sargıdan geçen faz akımına eşittir.

$$I_{1hn} = I_{1n} = 24,25A$$

Bağıl boşa çalışma akımı ise

$$i_0 = \frac{I_0}{I_{1f}} \Rightarrow I_0 = i_0 \times I_1 = 24,25 \times \frac{1,2}{100} = 0,29A$$

Boşa çalışma güç faktörü ise

$$P_0 = \sqrt{3} \times V_{10} \times I_0 \times \cos \varphi_0 \Rightarrow \cos \varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3} \times V_{10} \times I_0} = \frac{1500}{\sqrt{3} \times 15 \times 10^3 \times 24,25}$$

$$V_{10} = V_{1fa}$$

$$\cos \varphi_0 = 0.1725 \Rightarrow \varphi_0 \approx 80^\circ$$

Demir akımı ;

$$I_{fe} = I_0 \times \cos \varphi_0 = 0,29 \times \cos 80^\circ = 0,05A$$

Mıknatıslanma akımı

$$I_\mu = I_0 \times \sin \varphi_0 = 0,29 \times \sin 80^\circ = 0,28A$$

Boşa çalışma akımının bileşenleri

$$I_0 = 0,05 - j0,28 = 0,29 \angle -80^\circ$$

Demir direnci hesaplanırken birincil sargıda meydana gelen gerilim düşümü, boşa çalışma akımının değeri düşük olduğundan ihmal edilmiştir. Bu nedenden dolayı

$$V_1 = E_1 \Rightarrow R_{fe} = \frac{V_1}{I_{fe}} = \frac{15 \times 10^3 / \sqrt{3}}{0,05} = 173,21 \text{ k}\Omega$$

Eşdeğer devre 1 faz için yapıldığından yıldız bağlı sistemde verilen faz-faz arası gerilim $\sqrt{3}$ 'te birine bölünerek bir faz sargısı üzerine düşen gerilim hesaplanmıştır.

Mıknatıslanma reaktansı ise

$$X_m = \frac{V_1}{I_\mu} = \frac{15 \times 10^3 / \sqrt{3}}{0,28} = 30,31 \text{ k}\Omega$$

Kısa devre deneyinden gerekli eşdeğer devre parametreleri elde edebilmek için bağıl kısa devre gerilimini hesaplamak gereklidir.

$$v_k = \frac{V_{kfa}}{V_{1fa}} \Rightarrow V_{kfa} = v_k \times V_{1fa} = \frac{4}{100} \times 15 \times 10^3 = 600 \text{ V}$$

Hesaplanan gerilim faz faz arası gerilimdir. Bunun faz sargısı başına düşen değeri ise $V_k = \frac{V_{kfa}}{\sqrt{3}} = \frac{600}{\sqrt{3}} = 346,41 \text{ V}$

Kısa devre empedansı ise

$$Z_k = \frac{V_{kfa}}{I_{1n}} = \frac{346,41}{24,25} = 14,28 \text{ A}$$

Kısa devre durumundaki güç faktörü

$$P_k = \sqrt{3} \times V_{1kfa} \times I_{1hn} \times \cos \varphi_k \Rightarrow \cos \varphi_k = \frac{6500}{\sqrt{3} \times 600 \times 24,25} = 0,2579$$

$$V_{1k} = V_{kfa} = 600 \text{ V}$$

$$\varphi_k = 75^\circ$$

Toplam kısa devre direnci

$$R_k = Z_k \times \cos \varphi = 14,28 \times \cos 75 = 3,68 \text{ }\Omega$$

Birincil sargı ve ikincil sargı dirençleri eşit kabul ederek

$$R_1 = R_2 = \frac{R_k}{2} = \frac{3,68}{2} = 1,84 \text{ }\Omega$$

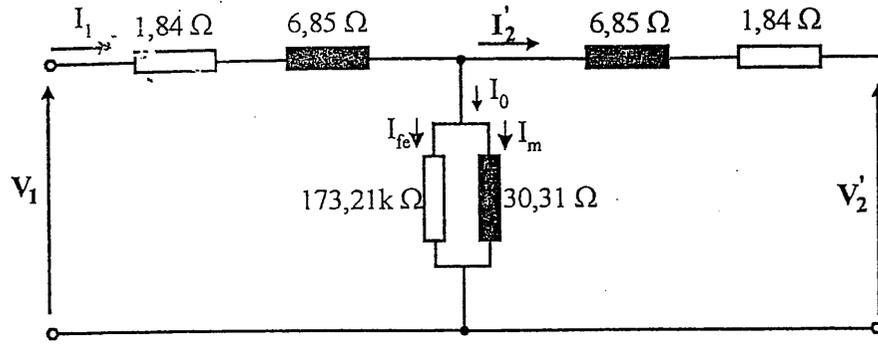
Kısa devre reaktansı ise

$$X_k = Z_k \times \sin \varphi_k = 14,28 \times \sin 75 = 13,7 \text{ }\Omega$$

Birincil ve ikincil sargılarının kaçak reaktansları eşit kabul edersek

$$X_{1\sigma} = X_{2\sigma} = \frac{X_k}{2} = \frac{13,7}{2} = 6,85 \text{ }\Omega$$

T eşdeğer devre



24) 800 kVA gücünde 36/0,4 kV, Yy₀ bağlı üç fazlı güç transformatörde $u_{kn}=\%4$, $i_0=\%1$, boştaki kayıpları 1520 W, anma akımındaki bakır kayıpları 1100 W'dır.

- Eşdeğer devre parametrelerini hesaplayınız
- Transformatöre 500 kVA'lık $\cos\phi=0,8$ endüktif yük bağlanması durumu için L eşdeğer devreyi kullanarak sekonder gerilimini ve verimini hesaplayınız.

ÇÖZÜM

a) 800 kVA'lık transformatörün eşdeğer devre parametreleri için verilen deney verilerini kullanmamız gerekir.

Boşta çalışma deneyi

Boşta çalışma deneyinden demir direnci ve mıknatıslanma reaktansı elde edilir. Bunun için boşta çalışma akımını, boşta çalışma gerilimini ve boşta çalışma gücü gerekmektedir. Boşta çalışma deneyi transformatörün sekonder uçlarına bir yük bağlanmadığı ve primer devreye anma gerilimi uygulandığı durumda yapılan deneydir. Sekonder uçlarda bir yük bağlı olmadığından geçen akım boşta çalışma akımı anma akımından çok düşük değerdedir. Boşta çalışma akımı yerine bağıl boşta çalışma akımı verildiğinden anma akımını

bulmak zorundayız. Çünkü $\%i_0 = \frac{I_0}{I_n}$

$$S_n = \sqrt{3} \times V_{1fa} \times I_{1hn} \Rightarrow I_{1hn} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \times V_{1fa}} = \frac{800 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 36 \times 10^3} = 12,83 \text{ A}$$

Sistem yıldız bağlı olduğundan hat akımı faz akımına eşittir

$$I_0 = \%i_0 \times I_{1hn} = \%1 \times 12,83 = 1,283 \text{ A}$$

$$P_0 = \sqrt{3} \times V_{10} \times I_{10} \times \cos\phi_0$$

Boşta çalışma deneyi anma geriliminde yapıldığından $V_{10}=V_{1fa}$

$$\cos\phi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3} \times V_{1fa} \times I_{10}} = \frac{1520}{\sqrt{3} \times 36 \times 10^3 \times 1,283} = 0,19 \quad \phi_0 = \angle -79$$

Boşta çalışma akımının açısının eksidir. Boşta çalışma akımının bileşenleri demir direnci ve mıknatıslanma reaktansı üzerinden aktığından boşta çalışma akımı endüktif karakterlidir.

Boşta çalışma sırasında primer devrede meydana gelen gerilim düşümü, boşta çalışma akımı düşük olduğundan ihmal edilir.

$$I_{fe} = I_0 \times \cos\phi_0 = 0,1283 \times \cos 79 = 0,02 \text{ A}$$

$$I_{\mu} = I_0 \times \sin\phi_0 = 0,1283 \times \sin 79 = 0,117 \text{ A}$$

$$I_0 = 0,02 - j0,117 \text{ A}$$

Eşdeğer devrede demir direnci üzerine gelen gerilim sistem yıldız bağlı olduğundan faz nötr gerilimi ve geçen akımda demir akımı olduğuna göre

$$R_{fe} = \frac{V_1}{I_{fe}} = \frac{36 \text{ kV} / \sqrt{3}}{0,02} = 1039 \text{ k}\Omega$$

Eşdeğer devrede mıknatıslanma reaktansı üzerine gelen gerilim aynı şekilde faz nötr gerilimi ve geçen akımda mıknatıslanma akımı olduğuna göre

$$X_m = \frac{V_1}{I_{\mu}} = \frac{36 \text{ kV} / \sqrt{3}}{0,117} = 177 \text{ k}\Omega$$

Kısa devre deneyi

Kısa devre deneyi sonuçlarından primer devrenin direnç ve kaçak reaktansı sekonder devrenin direnç ve kaçak reaktans değerleri elde edilir. Bu devre

parametrelerini elde etmek için kısa devre gücünü, kısa devre gerilimini ve kısa devre akımını bilmek gerekir. Kısa devre deneyi anma akımı geçecek bir gerilim değerinde yapılır. Bu gerilim değeri asla anma gerilimi olamaz aksi takdirde transformatörde gerçek bir kısa devre meydana getirmiş oluruz.

Bağlı kısa devre gerilimi

$$\%u_{kn} = \frac{V_k}{V_1} \text{ olduğuna göre}$$

Kısa devre gerilimi;

$$V_{1k} = \%u_{kn} \times V_1 \Rightarrow V_{1k} = \left(\frac{4}{100}\right) \times 36000 = 1440 \text{ V}$$

$$V_{1k} = V_{kfa}$$

Hesaplanan gerilim değeri faz-faz arasındır.

Kısa devre gücü ise;

$$P_{kn} = \sqrt{3} \times V_{1kfa} \times I_{1h} \times \cos \varphi_k$$

Buradan kısa devre güç faktörü;

$$\cos \varphi_k = \frac{P_{kn}}{\sqrt{3} \times V_{1kfa} \times I_{1hn}} = \frac{11000}{\sqrt{3} \times 1440 \times 12,83} = 0,34 \Rightarrow \varphi_k = 70^\circ$$

Kısa devre deneyi hesaplamalarında orta bacadan geçen boşa çalışma akımı küçük olduğundan, orta bacak ihmal edilir.

Toplam kısa devre direnci ve toplam kısa devre reaktansı farklı yollardan hesaplanabilir.

$$P_k = 3 \times I_{1n}^2 \times R_k \Rightarrow R_k = \frac{P_{kn}}{3 \times I_{1n}^2} = \frac{11000}{3 \times (12,83)^2} = 22,27 \Omega$$

$$R_1 = R_2 = \frac{R_k}{2} = \frac{22,27}{2} = 11,13 \Omega$$

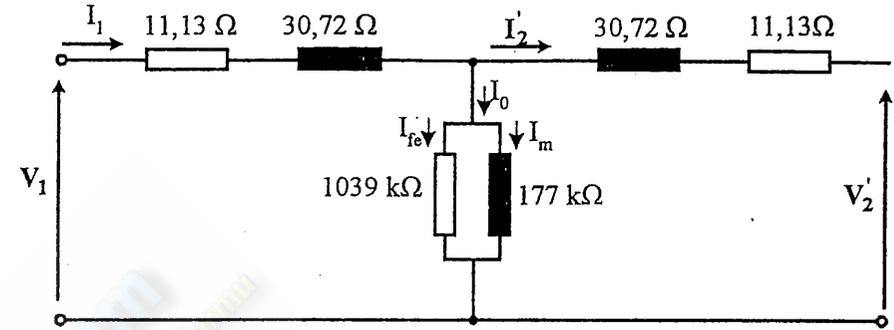
Kısa devre deneyinde kaçak reaktanslardan dolayı çekilen reaktif güç

$$Q_{kn} = P_{kn} \times \tan \varphi_k = 11000 \times \tan 70 = 30342 \text{ Var}$$

$$Q_{kn} = 3 \times I_{1n}^2 \times X_k \Rightarrow X_k = \frac{Q_{kn}}{3 \times I_{1n}^2} = \frac{30342}{3 \times (12,83)^2} = 61,44 \Omega$$

$$X_1 = X_2 = \frac{X_k}{2} = 30,72 \Omega$$

Aşağıdaki şekilde T eşdeğer devre gösterilmiştir.



b) Orta bacağı ihmal etmemiz durumunda meydana gelecek olan gerilim düşümü aşağıdaki formülden hesaplanabilir.

$$\Delta V = \alpha \times [(u_m \times \cos \varphi) + (u_{xn} \times \sin \varphi)]$$

$$\alpha = \text{yüklenme faktörü} \Rightarrow \frac{I_{1x}}{I_{1n}} = \frac{S_x}{S_n} = \frac{500 \text{ kVA}}{800 \text{ kVA}} = 0,63$$

$$u_m = \frac{I_n \times R_k}{V_1} \text{ formülde pay ve payda } 3 \times I_n \text{ ile çarpılacak olunursa}$$

$$u_m = \frac{3 \times I_n^2 \times R_k}{3 \times V_1 \times I_n} = \frac{P_{kn}}{S_n} = \frac{11000}{800 \times 10^3} = \%1,38$$

$$u_{xn} = \sqrt{u_{kn}^2 - u_m^2} = \sqrt{4^2 - 1,38^2} = \%3,75$$

$$\Delta V = 0,63 [(1,38 \times 0,8) + (3,75 \times 0,6)] = \%2,11$$

$$\Delta V = \frac{V_1 - V_2'}{V_1} \Rightarrow V_2' = V_1 \times (1 - \Delta V)$$

$$V_2' = \frac{36000}{\sqrt{3}} \times \left(1 - \frac{2,11}{100}\right) = 20,346 \text{ kV}$$

Gerçek sekonder gerilimi V_2 ise;

$$V_2 = \frac{V_1'}{ü}$$

$$ü = \frac{V_1}{V_2} = \frac{36000/\sqrt{3}}{400/\sqrt{3}} = 90$$

Gerilim dönüştürme oranı bir faz eşdeğer devresi için yapılır. Transformator yıldız-yıldız bağlı olduğundan gerilimler $\sqrt{3}$ 'e bölünmüştür.

$$V_2 = \frac{20436}{90} = 226,06 \text{ V}$$

Faz-faz arası gerilim ise

$$V_{2fa} = 226,06 \times \sqrt{3} = 391,55 \text{ V}$$

25) 1000 kVA gücünde 15/0,4 kV geriliminde Δ/Y bağlı üçfazlı transformatorün boşa çalışma deneyinde vatmetreden okunan değer 1850 W'tır. Bağlı boşa çalışma akımı ise $i_0 = \%0,8$ 'dir. Kısa devre deneyi sonucunda ölçülen vatmetre değeri ise 10 kW ve bağlı kısa devre gerilimi $u_{kn} = \%5$ 'dir. Buna göre

- Transformatorün eşdeğer devre parametrelerini elde ediniz.
- $\%80$ yüklü durumda ve güç faktörü 0,8 endüktif iken toplam gerilim düşümünü, primere indirgenmiş sekonder gerilimi ve gerçek sekonder gerilimini hesaplayınız
- Yükleme oranı $\%70$ güç faktörü 0,85 endüktif çalışma durumunda oluşan demir, bakır kayıplarını ve transformatorün verimini hesaplayınız

ÇÖZÜM

a) Üç fazlı primeri üçgen bağlı olan transformatorün anma akımı

$$S_n = \sqrt{3} \times V_{1fa} \times I_{1n}$$

$$I_{1n} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \times V_{1fa}} = \frac{1000 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 15 \times 10^3} = 38,49 \text{ A}$$

Fazdan geçen akım ise;

$$I_{1n} = \frac{I_{1hn}}{\sqrt{3}} = \frac{38,49}{\sqrt{3}} = 22,22 \text{ A}$$

Boşa çalışmada fazdan geçen akım için

$$i_0 = \frac{I_0}{I_{1n}} \Rightarrow I_0 = I_{1n} \times i_0 = 22,22 \times \frac{0,8}{100} = 0,177 \text{ A}$$

Boşa çalışma güç faktörü ise

$$P_0 = 3 \times V_1 \times I_0 \times \cos \varphi_0 \Rightarrow \cos \varphi_0 = \frac{P_0}{3 \times V_1 \times I_0} = \frac{1850}{3 \times 15000 \times 0,1777}$$

$$\cos \varphi_0 = 0,223 \Rightarrow \varphi_0 = 76,57^\circ$$

$$I_{fe} = I_0 \times \cos \varphi_0 = 0,177 \times \cos 76,57 = 0,041 \text{ A}$$

$$I_\mu = I_0 \times \sin \varphi_0 = 0,177 \times \sin 76,57 = 0,172 \text{ A}$$

Boşa çalışmada çekilen güç demir direnci üzerinde harcanmaktadır.

$$P_0 = 3 \times I_{fe}^2 \times R_{fe} \Rightarrow R_{fe} = \frac{P_0}{3 \times I_{fe}^2} = \frac{1850}{3 \times 0,041^2} = 366 \text{ k}\Omega$$

Boşa çalışmada çekilen reaktif güç;

$$Q_0 = P_0 \times \tan \varphi_0 \Rightarrow Q_0 = 1850 \times \tan 76,57 = 7747 \text{ Var}$$

Boşa çalışmada çekilen reaktif güç ise mıknatıslanma reaktansı üzerinde harcanmaktadır.

$$X_m = \frac{Q_0}{3 \times I_\mu^2} = \frac{7747}{3 \times 0,172^2} = 87,3 \text{ k}\Omega$$

Kısa devre deneyinden ise primer ve sekonderin direnç ve kaçak reaktansları elde edilir.

Anma akımı için kısa devre gerilimi

$$V_k = \%u_{kn} \times V_{1fa} \Rightarrow V_k = \left(\frac{5}{100}\right) \times 15000 = 750 \text{ V}$$

Faz başına düşen gerilim üçgen bağlı sistemde faz-faz arası gerilime eşittir.

$$P_{kn} = \sqrt{3} \times V_k \times I_{1hn} \times \cos \varphi_k$$

$$\cos \varphi_k = \frac{P_{kn}}{\sqrt{3} \times V_k \times I_{1hn}} = \frac{1000 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 750 \times 38,49} = 0,2 \Rightarrow \varphi_k = 78,46^\circ$$

$$P_k = 3 \times I_{1n}^2 \times R_k \Rightarrow R_k = \frac{P_{kn}}{3 \times I_{1n}^2} = \frac{10 \times 10^3}{3 \times 22,22^2} = 6,75 \Omega$$

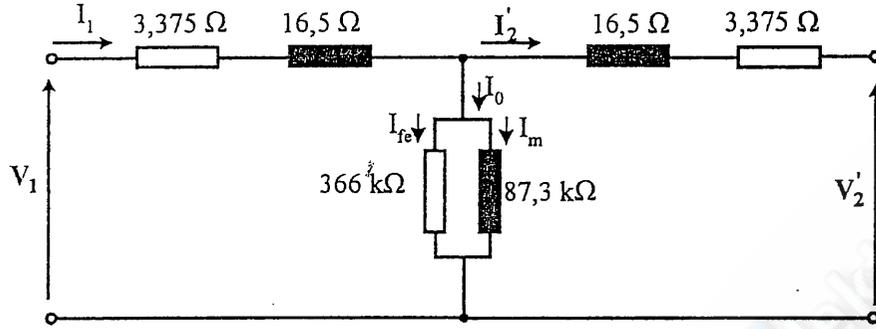
$$R_1 = R_2 = \frac{R_k}{2} = 3,375 \Omega$$

Kısa devre deneyinde çekilen reaktif güç ise kaçak reaktanslar üzerinde harcanmaktadır.

$$Q_{kn} = P_{kn} \times \tan \phi_k = 10 \times 10^3 \times \tan 78,46 = 48980 \text{ Var}$$

$$Q_{kn} = 3 \times I_{1n}^2 \times X_k \Rightarrow X_k = \frac{Q_{kn}}{3 \times I_{1n}^2} = \frac{48980}{3 \times (22,22)^2} = 33 \Omega$$

$$X_1 = X_2 = \frac{X_k}{2} = 16,5 \Omega$$



b) % 80 yüklü durumda transformatörde meydana gelen gerilim düşümü

$\Delta V = x \times (I_n \times R_k \times \cos \phi + I_n \times X_k \times \sin \phi)$ şeklinde de hesaplanır.

$$\Delta V = \frac{80}{100} \times (22,22 \times 6,75 \times 0,8 + 22,22 \times 33 \times 0,6) = 447,95 \text{ V}$$

$$V_2' = V_1 - \Delta V = 15 \text{ kV} - 447,95 = 14,55 \text{ kV}$$

$V_1 = 15 \text{ kV}$ Primer tarafın bir faz eşdeğer devresine düşen gerilim

$$V_2' = \frac{400}{\sqrt{3}} = 230,94 \text{ V}$$
 Sekonder kısmın bir faz eş değer devresine düşen

gerilim

Dönüştürme oranı

$$\ddot{u} = \frac{15000}{230,94} = 64,95$$

Buradan sekonder tarafın bu yüklenme altında gerçek gerilimi

$$V_2 = \frac{V_2'}{\ddot{u}} = \frac{14,55 \times 10^3}{64,95} = 224,02 \text{ V}$$

c) $x = \% 70$ yüklü durumda demir kaybı bakır kaybı ve verimi

$P_0 = P_{fe}$ demir kayıpları yüklenme durumuna bağlı olarak değişmez. Primer devreye uygulanan gerilim veya frekans değişmesi durumunda demir kayıpları değişir. Bu durumda % 70 yüklü durumda demir kayıpları $P_{fe} = 1850 \text{ W}$ olarak kalır.

Herhangi bir yüklenme durumunda bakır kayıpları

$$P_{cux} = 3 \times I_x^2 \times R_k$$

Anma çalışmasında bakır kayıpları

$$P_{cun} = 3 \times I_n^2 \times R_k$$

$$R_k = \frac{P_{cun}}{3 \times I_n^2} \text{ ve } \alpha = \frac{I_x}{I_n}$$

$$P_{cux} = 3 \times I_f^2 \times \frac{P_{cun}}{3 \times I_n^2} = \left(\frac{I_x}{I_n} \right)^2 \times P_{cun} = (\alpha)^2 \times P_{cun} = (0,7)^2 \times 10 \times 10^3 =$$

$$P_{cux} = 4900 \text{ W}$$

Verim ise ;

$$\eta = \frac{\alpha \times S_n \times \cos \phi}{\alpha \times S_n \times \cos \phi + P_0 + \alpha^2 P_{kn}} = \frac{0,7 \times 1000 \times 10^3 \times 0,8}{0,7 \times 1000 \times 10^3 \times 0,8 + 1850 + 0,7^2 \times 4900} =$$

$$\eta = \% 98,9$$

26) $S=800$ kVA, $15/0,4$ kV $P_0=1,5$ kW, $P_{kn}=10$ kW, $i_0=1,30\%$, $v_{kn}=4,5\%$ 50 Hz
Y/ Δ ,

Yukarıda plaka değerleri verilen transformatör için aşağıdaki soruları yanıtlayınız.

- Transformatörün eşdeğer devre parametrelerini hesaplayınız
- Transformatörün yarı yükünde $\cos\varphi=0,85$ endüktif güç katsayısında yüklenmesi durumu için demir kayıplarını, bakır kayıplarını ve verimini hesaplayınız.
- Transformatörün sekonder gerilimini sabit kaldığı durumu için anma akımında $\cos\varphi=0,85$ kapasitif yüklenme durumu için sekonder sargıda endüklenen elektromotor kuvveti hesaplayınız.

ÇÖZÜM

a) Yıldız bağlı üç fazlı transformatörün eşdeğer devre parametreleri

Transformatörün anma akımı;

$$S_n = \sqrt{3} \times V_{1fa} \times I_{1n}$$

$$I_{1n} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \times V_{1fa}} = \frac{800 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 15 \times 10^3} = 30,8 \text{ A}$$

Plakada verilen değerler anma değerleridir. Bunlar makinanın tasarlandığı değerlerdir. Bu değerlere göre hesaplanan akımda anma akımıdır. Yıldız bağlı olduğundan hat anma akımı faz anma akımına eşittir.

$$I_{1hn} = I_{1n} = 30,8 \text{ A}$$

Boşta çalışma deneyi

Boşta çalışmada primer devrenin çektiği boşta çalışma akımı

$$i_0 = \frac{I_0}{I_{1n}} \Rightarrow I_0 = I_{1n} \times i_0 = 30,8 \times \frac{1,30}{100} = 0,4 \text{ A}$$

Bu durumda boşta çalışma güç faktörü ise;

$$P_0 = \sqrt{3} \times V_{1fa} \times I_0 \times \cos\varphi_0 \Rightarrow \cos\varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3} \times V_{1fa} \times I_0} = \frac{1500}{\sqrt{3} \times 15000 \times 0,4} =$$

$$\cos\varphi_0 = 0,14 \Rightarrow \varphi_0 = 86^\circ$$

Demir akımı

$$I_{fe} = I_0 \times \cos\varphi_0 = 0,4 \times \cos 86 = 0,056 \text{ A}$$

Demir direnci

Demir direnci;

$$R_{fe} = \frac{V_1}{I_{fe}} = \frac{15000/\sqrt{3}}{0,056} = 155 \text{ k}\Omega$$

Mıknatıslanma akımı ;

$$I_\mu = I_0 \times \sin\varphi_0 = 0,4 \times \sin 86 = 0,39 \text{ A}$$

Mıknatıslanma reaktansı

$$X_m = \frac{V_1}{I_\mu} = \frac{15000/\sqrt{3}}{0,39} = 22 \text{ k}\Omega$$

Kısa devre deneyi

Bağlı kısa devre gerilimi

$$\%v_{kn} = \frac{V_k}{V_1} \text{ olduğuna göre}$$

Kısa devre gerilimi;

$$V_{1k} = \%v_{kn} \times V_1 \Rightarrow V_{1k} = \left(\frac{4,5}{100}\right) \times \left(\frac{15000}{\sqrt{3}}\right) = 390 \text{ V}$$

Burada hesaplanan gerilim değeri faz-nötr gerilimdir. Yıldız bağlı sistemde bu 1 faz eşdeğer devresinin başına düşen gerilimdir.

Hesaplanan gerilim değeri faz-faz arasındır.

Kısa devre gücü ise;

$$P_{kn} = 3 \times V_{1k} \times I_{1n} \times \cos\varphi_k$$

Buradan kısa devre güç faktörü;

$$\cos\varphi_k = \frac{P_{kn}}{3 \times V_{1k} \times I_{1n}} = \frac{10000}{3 \times 390 \times 30,8} = 0,27 \Rightarrow \varphi_k = 74,33^\circ$$

Kısa devre deneyi hesaplamalarında orta bacadan geçen boşta çalışma akımı küçük olduğundan, orta bacak ihmal edilir.

Kısa devre parametreleri hesaplarken iki hesaplama yöntemi kullanılır. Her ikisini burada göstereceğiz.

I. Yol

Kısa devre deneyinde ölçülen güç değeri aynı zamanda makinanın anma çalışmasındaki bakır kayıplarını verir.

$$P_k = 3 \times I_{1n}^2 \times R_k$$

$$R_k = \frac{P_{kn}}{3 \times I_{1n}^2} = \frac{10000}{3 \times 30,8^2} = 3,51 \Omega$$

$$R_1 = R_2 = \frac{R_k}{2} = 1,755 \Omega$$

Kısa devre deneyinde çekilen reaktif güç ise kaçak reaktanslar üzerinde harcanmaktadır.

$$Q_{kn} = P_{kn} \times \tan \varphi_k = 10000 \times \tan 74,33 = 35648 \text{ Var}$$

$$Q_{kn} = 3 \times I_{1n}^2 \times X_k \Rightarrow X_k = \frac{Q_{kn}}{3 \times I_{1n}^2} = \frac{35648}{3 \times (30,8)^2} = 12,46 \Omega$$

$$X_1 = X_2 = \frac{X_k}{2} = 6,23 \Omega$$

II. yol

Kısa devre empedansı ise;

$$Z_k = \frac{V_k}{I_{fn}} = \frac{390}{30,8} = 12,66 \Omega$$

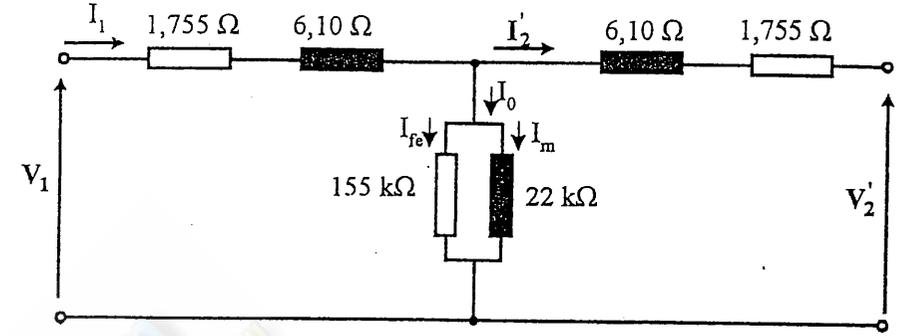
Kısa devre durumunda orta bacak ihmal edildiğinden

$$R_k = Z_k \times \cos \varphi_k = 12,66 \times \cos 74,33 = 3,51 \Omega$$

$$R_1 = R_2 = \frac{R_k}{2} = 1,755 \Omega$$

$$X_k = Z_k \times \sin \varphi_k = 12,66 \times \sin 74,33 = 12,20 \Omega$$

$$X_1 = X_2 = \frac{X_k}{2} = 6,10 \Omega$$



b) Yarı yükünde transformatörün demir kayıpları, bakır kayıpları ve verimi; Transformatörün demir kayıpları yüklenmeye bağlı olarak değişmez. Demir kayıpları transformatörün primer uçlarına uygulanan gerilimin karesi ve frekansla doğru orantılı olarak değişir. Bu durumda boşta deneyde bulunan demir kayıpları yarı yükte $\cos \varphi = 0,85$ endüktif yüklü durumda geçerlidir.

$$P_0 = 1850 \text{ W}$$

$$\alpha = \frac{1}{2}, \cos \varphi = 0,85 \text{ (endüktif yüklü)}$$

Bakır kayıpları ise

$$P_{cux} = (\alpha)^2 \times P_{cun}$$

$$P_{cux} = \left(\frac{1}{2}\right)^2 \times 1500 = 375 \text{ W}$$

Verim ifadesi ise

$$\eta = \frac{\alpha \times S_n \times \cos \varphi}{\alpha \times S_n \times \cos \varphi + P_0 + \alpha^2 P_{kn}} = \frac{0,7 \times 1000 \times 10^3 \times 0,8}{0,7 \times 1000 \times 10^3 \times 0,8 + 1850 + 0,7^2 \times 4900} =$$

$$\eta = \% 99$$

- c) Transformatörün sekonder gerilimi sabit tutulması ve anma çalışması durumunda sekonder tarafın anma akımı,

$$S_n = \sqrt{3} \times V_{2fa} \times I_{2h}$$

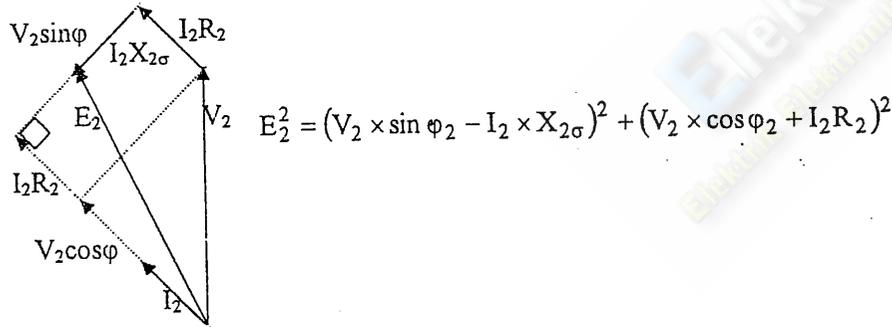
$$I_{2hn} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \times V_{2fa}} = \frac{800 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 0,4 \times 10^3} = 1154 \text{ A}$$

$$X_{2\sigma} = \frac{X'_{2\sigma}}{u^2} = \frac{6,09}{15000/400} = 0,04 \ \Omega$$

$$R_2 = \frac{1,705}{15000/400} = 0,0012 \ \Omega$$

Bu soruda çözümü fazör diyagram üzerinden yapacağız. Kapasitif yüklü durumda akım gerilimden ileridedir. Saat yönünün tersi pozitif taraf olarak alınacaktır.

Kapasitif yüklenme durumu için fazör diyagramı;



Sekonder taraf üçgen bağlı olduğundan faz başına düşen gerilim $V_2 = 400 \text{ V}$, bir faz eşdeğer devresinden geçen akım ise,

$$I_{2n} = \frac{1154}{\sqrt{3}} = 666,26 \text{ A}$$

$$\cos \varphi = 0,85 \Rightarrow \varphi = 31,78^\circ$$

$$E_2^2 = (400 \times \sin 31,78^\circ - 666,26 \times 0,004)^2 + (400 \times \cos 31,78^\circ + 666,26 \times 0,0012)^2$$

$$E_2^2 = (208,04)^2 + (340,80)^2$$

$$E_2 = 397 \text{ V}$$

- 27) 18 MVA gücünde 10,5/172 kV'luk 3 fazlı Y_0 bağlı yükseltici tip bir transformatörün 50 Hz'lik gerilimle beslenmektedir. Primer tarafından yapılan boşa deneyinde 39,33 A, 106,2 kW değerleri ölçülmektedir. Sekonder taraf kısa devre edilerek yapılan deney sonuçları ise 1,155 kV, 297 kW olarak verilmektedir.

- a) Transformatörün eşdeğer devre parametrelerini hesaplayınız.
b) Transformatör % 75 yükünde $\cos \varphi = 0,8$ endüktif yüklü durumda demir kayıplarını, bakır kayıplarını ve verimini hesaplayınız.

ÇÖZÜM

a) Boşa çalışma deneyi

Yapılan boşa deneyde akım 39,33 A aktif güç 106,2 kW ölçülmüştür. Boşa deney sekonder uçları açık ve anma gerilimde yapıldığından primer gerilimde 10,5 kV'tur.

Bu durumda boşa çalışma güç faktörü ise;

$$P_0 = \sqrt{3} \times V_{1fa} \times I_0 \times \cos \varphi_0 \Rightarrow \cos \varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3} \times V_{1fa} \times I_0} = \frac{106200}{\sqrt{3} \times 10500 \times 39,3} =$$

$$\cos \varphi_0 = 0,1485 \Rightarrow \varphi_0 = 81,46^\circ$$

Demir akımı

$$I_{fe} = I_0 \times \cos \varphi_0 = 39,33 \times \cos 81,46 = 5,84 \text{ A}$$

Demir direnci;

$$R_{fe} = \frac{V_1}{I_{fe}} = \frac{10500/\sqrt{3}}{5,84} = 1038 \text{ k}\Omega$$

Mıknatıslanma akımı ;

$$I_{\mu} = I_0 \times \sin \varphi_0 = 39,33 \times \sin 81,46 = 38,89 \text{ A}$$

Mıknatıslanma reaktansı

$$X_m = \frac{V_1}{I_{\mu}} = \frac{10500/\sqrt{3}}{38,89} = 155,9 \text{ k}\Omega$$

Kısa devre deneyi

Kısa devre deneyi 1,55 kV'ta yapılmış ve bu durumda şebekeden çekilen aktif güç ise 297 kW olarak ölçülmüştür.

Kısa devre deneyi sekonder tarafın kısa devre halinde primer devreden anma akımı geçmesi durumu için yapılmaktadır. Transformatörün primer devresine ait anma akımı ise,

$$S_n = \sqrt{3} \times V_{1fa} \times I_{1h}$$

$$I_{1hn} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \times V_{1fa}} = \frac{18 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 10,5 \times 10^3} = 989 \text{ A}$$

Yıldız bağlı sistemde

$$I_{1hn} = I_{1n} = 989 \text{ A}$$

Üç fazlı sistemin güç ifadesinden yola çıkarak güç faktörü hesaplanır.

$$P_{kn} = \sqrt{3} \times V_{kfa} \times I_{1hn} \times \cos \varphi_k$$

$$\cos \varphi_k = \frac{P_{kn}}{\sqrt{3} \times V_{1kfa} \times I_{1hn}} = \frac{297 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 1550 \times 989} = 0,15 \Rightarrow \varphi_k = 81,36^\circ$$

$$P_k = 3 \times I_{1n}^2 \times R_k \Rightarrow R_k = \frac{P_{kn}}{3 \times I_{1n}^2} = \frac{297000}{3 \times 989^2} = 0,101 \Omega$$

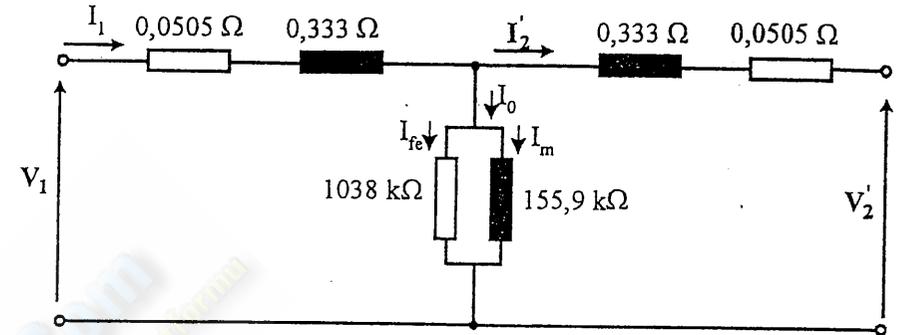
$$R_1 = R_2 = \frac{R_k}{2} = 0,0505 \Omega$$

Kısa devre deneyinde çekilen reaktif güç ise kaçak reaktanslar üzerinde harcanmaktadır.

$$Q_{kn} = P_{kn} \times \tan \varphi_k = 297000 \times \tan 81,36 = 1954 \text{ kVAR}$$

$$Q_{kn} = 3 \times I_{1n}^2 \times X_k \Rightarrow X_k = \frac{Q_{kn}}{3 \times I_{1n}^2} = \frac{1954 \times 10^3}{3 \times (989)^2} = 0,666 \Omega$$

$$X_1 = X_2 = \frac{X_k}{2} = 0,333 \Omega$$



b) % 75 $\cos \varphi = 0,8$ endüktif yüklü durumda demir kayıpları değişmez ve bu kayıplar boşa çalışma deneyinden transformatörün şebekeden çektiği kayıplardır. Bu kaybın yüksek olması makinanın kalitesiz malzemeden yapıldığını gösterir.

$$P_0 = P_{fe} = 106200 \text{ W}$$

Herhangi bir yükleme durumunda bakır kayıpları

$$P_{cux} = 3 \times I_x^2 \times R_k$$

Anma çalışmasında bakır kayıpları

$$P_{cun} = 3 \times I_n^2 \times R_k$$

$$R_k = \frac{P_{cun}}{3 \times I_n^2} \text{ ve } \alpha = \frac{I_x}{I_n}$$

$$P_{cux} = 3 \times I_x^2 \times \frac{P_{cun}}{3 \times I_n^2} = \left(\frac{I_x}{I_n} \right)^2 \times P_{cun} = (\alpha)^2 \times P_{cun}$$

Bu yüklenme durumunda bakır kayıpları ;

$$P_{cux} = \alpha^2 \times P_{cun} = (0,75)^2 \times 297000 = 167,06 \text{ kW}$$

Verim ise,

$$\eta = \frac{\alpha \times S_n \times \cos \varphi}{\alpha \times S_n \times \cos \varphi + P_0 + \alpha^2 P_{kn}} = \frac{0,75 \times 18 \times 10^6 \times 0,8}{0,75 \times 18 \times 10^6 \times 0,8 + 106200 + 0,75^2 \times 167200}$$

$$\eta = \% 97,5$$

% 75 ve $\cos \varphi = 0,8$ endüktif yüklü durumda transformatörde meydana gelen gerilim düşümü

$\Delta V = x \times (I_n \times R_k \times \cos \varphi + I_n \times X_k \times \sin \varphi)$ şeklinde de hesaplanır.

$$\alpha = \frac{I_x}{I_n}$$

$$I_x = \alpha \times I_n = 0,75 \times 989 = 741,75 \text{ A}$$

$$V_2' = V_1 - \Delta V$$

$$V_2' = \left(\frac{10500}{\sqrt{3}} \right) - (741,75) \times (0,8 - j0,6) \times (0,101 - j0,666)$$

$$V_2' = 5710 - j350 = 5710 \angle 3,51^\circ$$

Dönüştürme oranı

$$\ddot{u} = \frac{10500}{172000} = 0,610$$

Buradan sekonder tarafın bu yüklenme altında gerçek gerilimi

$$V_2 = \frac{V_2'}{\ddot{u}} = \frac{5710}{0,610} = 9360 \text{ V}$$

Faz-faz arası gerilim ise

$$V_{2fa} = V_2 \times \sqrt{3} = 9360 \times \sqrt{3} = 16,68 \text{ kV}$$

28) 2,5 MVA gücünde 36/0,4 kV'luk Yy_0 bağlı üç fazlı bir transformatörün boşa çalışma kayıpları $P_0=4400$ W, primerden nominal akım geçecek şekilde sekonderi kısa devre edildiğinde kayıpları 24 kW olarak ölçülüyor. Transformatörün bağıl boşa çalışma akımı %2,55, nominal bağıl kısa devre gerilimi % 4,5'tir.

- a) Transformatörün yaklaşık eşdeğer devre parametrelerini elde ediniz.
b) Primer gerilimi sabit kalarak sekonderin her fazına $1+0,75 \Omega$ yük bağlanması durumunda $I_1, I_2', V_2', I_2, V_2$ değerlerini hesaplayınız.

ÇÖZÜM

- a) Yıldız bağlı üç fazlı transformatörün eşdeğer devre parametreleri
Transformatörün anma akımı;

$$S_n = \sqrt{3} \times V_{1fa} \times I_{1n}$$

$$I_{1n} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \times V_{1fa}} = \frac{2,5 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 36 \times 10^3} = 40,1 \text{ A}$$

Plakada verilen değerler anma değerleridir. Bunlar makinanın tasarlandığı değerlerdir. Bu değerlere göre hesaplanan akımda anma akımıdır. Yıldız bağlı olduğundan hat anma akımı faz anma akımına eşittir.

$$I_{1hn} = I_{1n} = 40,1 \text{ A}$$

Boşa çalışma deneyi

Boşa çalışmada primer devrenin çektiği boşa çalışma akımı

$$i_0 = \frac{I_0}{I_{1n}}$$

$$I_0 = I_{1n} \times i_0 = 40,1 \times \frac{2,55}{100} = 1,02 \text{ A}$$

Bu durumda boşa çalışma güç faktörü ise;

$$P_0 = \sqrt{3} \times V_{1fa} \times I_0 \times \cos \varphi_0 \Rightarrow \cos \varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3} \times V_{1fa} \times I_0} = \frac{4400}{\sqrt{3} \times 36000 \times 1,02}$$

$$\cos \varphi_0 = 0,07 \Rightarrow \varphi_0 = 86^\circ$$

Demir akımı;

$$I_{fe} = I_0 \times \cos \varphi_0 = 1,02 \times \cos 86 = 0,07 \text{ A}$$

Mıknatıslanma akımı ;

$$I_\mu = I_0 \times \sin \varphi_0 = 1,02 \times \sin 86 = 1,017 \text{ A}$$

Boşta çalışma deneyinden demir direnci ve mıknatıslanma reaktansı iki farklı yoldan elde edilecektir.

I. yol

Boşta çalışmada çekilen aktif güç demir direnci üzerinde harcanmaktadır.

$$P_0 = 3 \times I_{fe}^2 \times R_{fe}$$

$$R_{fe} = \frac{P_0}{3 \times I_{fe}^2} = \frac{4400}{3 \times 0,07^2} = 299 \text{ k}\Omega$$

Boşta çalışmada çekilen reaktif güç;

$$Q_0 = P_0 \times \tan \varphi_0$$

$$Q_0 = 4400 \times \tan 86 = 62046 \text{ VAR}$$

Boşta çalışmada çekilen reaktif güç ise mıknatıslanma reaktansı üzerinde harcanmaktadır.

$$X_m = \frac{Q_0}{3 \times I_{\mu}^2} = \frac{62046}{3 \times 1,017^2} = 20 \text{ k}\Omega$$

II. yol

Boşta çalışmada primer devrede meydana gelen gerilim düşümü boşta çalışma akımı küçük olduğundan ihmal edilir. Bu durumda demir direnci üzerinde endüklenen gerilim primer devre gerilimi geçen akımda demir akımıdır. Aynı şekilde mıknatıslanma reaktansı üzerindeki gerilimde primer devre gerilim akımı ise mıknatıslanma akımıdır.

Demir direnci;

$$R_{fe} = \frac{V_1}{I_{fe}} = \frac{36000/\sqrt{3}}{0,07} = 297 \text{ k}\Omega$$

Mıknatıslanma reaktansı

$$X_m = \frac{V_1}{I_{\mu}} = \frac{36000/\sqrt{3}}{1,017} = 20 \text{ k}\Omega$$

iki yoldan elde edilen değerler birbirlerine çok yakındır

Kısa devre deneyi

Kısa devre deneyinden ise primer ve sekonder sargılara ait direnç ve kaçak reaktans değerleri elde edilir. Bu değerleri iki yoldan elde edebiliriz.

I. yol

Bağıl kısa devre gerilimi

$$\%u_{kn} = \frac{V_k}{V_1} \text{ olduğuna göre}$$

Kısa devre gerilimi;

$$V_{1kfa} = \%u_{kn} \times V_{1fa} \Rightarrow V_{1kfa} = \left(\frac{4,5}{100}\right) \times 36000 = 1620 \text{ V}$$

Burada hesaplanan gerilim değeri faz-faz arası gerilimdir. Yıldız bağlı sistemde bu 1 faz eşdeğer devresinin başına düşen gerilim faz-nötr gerilimdir..

Kısa devre gücü ise;

$$P_{kn} = \sqrt{3} \times V_{1kfa} \times I_{1h} \times \cos \varphi_k$$

Buradan kısa devre güç faktörü;

$$\cos \varphi_k = \frac{P_{kn}}{\sqrt{3} \times V_{1kfa} \times I_{1h}} = \frac{24000}{\sqrt{3} \times 1620 \times 40,1} = 0,21 \Rightarrow \varphi_k = 77,87^\circ$$

Kısa devre empedansı ise

$$Z_k = \frac{V_k}{I_n} = \frac{1620/\sqrt{3}}{40,1} = 23,32 \Omega$$

Kısa devre durumunda orta bacak ihmal edildiğinden

$$R_k = Z_k \times \cos \varphi_k = 23,32 \times \cos 77,87^\circ = 4,89 \Omega$$

$$R_1 = R_2 = \frac{R_k}{2} = 2,445 \Omega$$

$$X_k = Z_k \times \sin \varphi_k = 23,32 \times \sin 77,87^\circ = 22,8 \Omega$$

$$X_1 = X_2 = \frac{X_k}{2} = 11,4 \Omega$$

II. yol

Kısa devre deneyinden elde edilen sonuçlar transformatörün anma akımındaki bakır kayıplarına eşittir.

$$P_k = 3 \times I_{1n}^2 \times R_k \Rightarrow R_k = \frac{P_{kn}}{3 \times I_{1n}^2} = \frac{24000}{3 \times 40,1^2} = 4,97 \Omega$$

$$R_1 = R_2 = \frac{R_k}{2} = 2,485 \Omega$$

Kısa devre deneyinde çekilen reaktif güç ise kaçak reaktanslar üzerinde harcanmaktadır.

$$Q_{kn} = P_{kn} \times \tan \varphi_k = 24000 \times \tan 77,87 = 111730 \text{ VAR}$$

$$Q_{kn} = 3 \times I_{1n}^2 \times X_k \Rightarrow X_k = \frac{Q_{kn}}{3 \times I_{1n}^2} = \frac{111730}{3 \times (40,1)^2} = 23 \Omega$$

$$X_1 = X_2 = \frac{X_k}{2} = 11,5 \Omega$$

iki değerde birbirine çok yakındır.

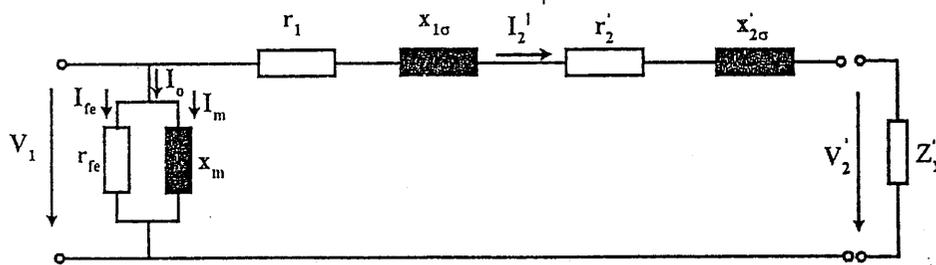
c) Sekonderin her fazına bağlanan yükü ilk olarak primere indirgersek

$$Z_{yük} = R_{yük} + X_{yük} = 1 + j0,75 \Omega$$

$$\ddot{u} = \frac{36000}{400} = 90$$

$$Z'_{yük} = \ddot{u}^2 \times Z_{yük} = 90^2 \times (1 + j0,75) = 8100 + j6075 \Omega$$

L eşdeğer devresi



$$Z_1 = (R_k + jX_k) + (R'_y + jX'_y)$$

$$Z_1 = (4,97 + j23) + (8100 + j6075) \Omega$$

$$Z_1 = 8104,97 + j6098 \Omega$$

$$\frac{1}{Z_{eş}} = \frac{1}{R_{fe}} + \frac{1}{jX_m} + \frac{1}{Z_1}$$

$$\frac{1}{Z_{eş}} = \frac{1}{299000} + \frac{1}{j20000} + \frac{1}{8104,97 + j6098}$$

$$Z_{eş} = 4395,1 + j5847,9 = 7315,4 \angle 53^\circ$$

Bu yük durumunda şebekeden çekilen akım;

$$I_1 = \frac{V_1}{Z_{eş}} = \frac{36000/\sqrt{3}}{7315,4 \angle 53^\circ} = 2,84^\circ \angle -53^\circ \text{ A}$$

$$I_1 = 1,706 - j2,27 \text{ A}$$

Demir akımı;

$$I_{fe} = I_0 \times \cos \varphi_0 = 1,02 \times \cos 86 = 0,07 \text{ A}$$

Mıknatıslanma akımı ;

$$I_\mu = I_0 \times \sin \varphi_0 = 1,02 \times \sin 86 = 1,017 \text{ A}$$

Boşta çalışma akımı ise;

$$I_0 = 0,07 - j1,017 \text{ A}$$

Primere indirgenmiş sekonder akımı ise ;

$$\vec{I}_2 = \vec{I}_1 - \vec{I}_0$$

$$\vec{I}_2 = (1,706 - j2,27) - (0,07 - j1,017) = 1,636 - j1,253 \text{ A} = 2,06 \angle -37,45^\circ$$

Sekonder akımın gerçek değeri ;

$$I_2 = I_2' \times \ddot{u}^2$$

$$\ddot{u} = \frac{36000}{400} = 90$$

$$I_2 = 2,06 \times 90^2$$

$$I_2 = 185,4 \text{ A}$$

Bu yüklenme durumunda sekonder gerilim

$$Z_y = 1 + j0,75 = 1,25 \angle 36,86^\circ$$

$$V_2 = I_2 \times Z_y$$

$$V_2 = 185,4 \times 1,25 = 231,75 \text{ V}$$

29) $S_n = 1000 \text{ kVA}$, $i_0 = \% 1,4$, $P_0 = 1650 \text{ W}$, $P_{kn} = 10500 \text{ W}$, $u_{kn} = \% 6$ 30/0,4 kV plaka değerleri verilen transformatörün primere indirgenmiş L eşdeğer devre parametrelerini ve sekonder sargının gerçek direnç ve reaktans değerlerini hesaplayınız.

- Transformatörün boştta çalışma, demir ve mıknatıslanma akımlarını ve demir direncini, mıknatıslanma reaktansını hesaplayınız
- Transformatörün kısa devre gerilimini ve kısa devre parametrelerini hesaplayınız
- Sekonder sargı parametrelerinin gerçek değerlerini hesaplayınız

ÇÖZÜM

a) Verilen parametrelerden ilk olarak anma akımını hesaplanır;

$$S_n = \sqrt{3} \times V_{1fa} \times I_{1hn}$$

$$I_{1hn} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \times V_{1fa}} = \frac{1000 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 30 \times 10^3} = 19,25 \text{ A}$$

$$I_{1hn} = I_{1n} = 19,25 \text{ A}$$

Bağlı boştta çalışma akımı $i_0 = \% 4$

$$i_0 = \frac{I_0}{I_{1n}}$$

$$I_0 = I_{1n} \times i_0 = 19,25 \times \frac{4}{100} = 0,77 \text{ A}$$

Bu durumda boştta çalışma güç faktörü ise;

$$P_0 = \sqrt{3} \times V_{1fa} \times I_0 \times \cos \varphi_0 \Rightarrow \cos \varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3} \times V_{1fa} \times I_0} = \frac{1500}{\sqrt{3} \times 30000 \times 0,77} =$$

$$\cos \varphi_0 = 0,041 \Rightarrow \varphi_0 = 87,64^\circ$$

Demir akımı;

$$I_{fe} = I_0 \times \cos \varphi_0 = 0,77 \times \cos 87,64 = 0,032 \text{ A}$$

Mıknatıslanma akımı ;

$$I_\mu = I_0 \times \sin \varphi_0 = 0,77 \times \sin 87,64 = 0,76 \text{ A}$$

Demir direnci;

$$R_{fe} = \frac{V_1}{I_{fe}} = \frac{30000/\sqrt{3}}{0,032} = 541,26 \text{ k}\Omega$$

Mıknatıslanma reaktansı

$$X_m = \frac{V_1}{I_\mu} = \frac{30000/\sqrt{3}}{0,76} = 22,79 \text{ k}\Omega$$

b) Bağlı kısa devre gerilimi $\% v_k = \% 6$

$$v_k = \frac{V_k}{V_1}$$

Kısa devre gerilimi ise

$$V_{1kfa} = v_k \times V_{1fa}$$

$$V_{1kfa} = \left(\frac{6}{100} \right) \times 30000 = 1800 \text{ V}$$

Kısa devre gücü ise;

$$P_{kn} = \sqrt{3} \times V_{1kfa} \times I_{1h} \times \cos \varphi_k$$

Buradan kısa devre güç faktörü;

$$\cos \varphi_k = \frac{P_{kn}}{\sqrt{3} \times V_{1kfa} \times I_{1h}} = \frac{10500}{\sqrt{3} \times 1800 \times 19,25} = 0,175 \Rightarrow \varphi_k = 79,92^\circ$$

Kısa devre empedansı ise

$$Z_k = \frac{V_k}{I_n} = \frac{18000/\sqrt{3}}{19,25} = 53,98 \Omega$$

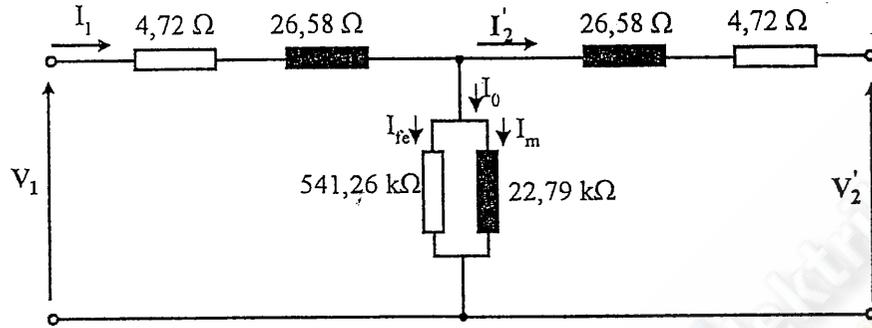
Kısa devre durumunda orta bacak ihmal edildiğinden

$$R_k = Z_k \times \cos \varphi_k = 53,98 \times \cos 79,92^\circ = 9,49 \Omega$$

$$R_1 = R_2' = \frac{R_k}{2} = 4,72 \Omega$$

$$X_k = Z_k \times \sin \varphi_k = 53,98 \times \sin 79,92^\circ = 53,15 \Omega$$

$$X_1 = X_2' = \frac{X_k}{2} = 26,58 \Omega$$



c) Sekonder sargının gerçek değerleri ;

$$R_2 = \frac{R_2'}{u^2}$$

$$u = \frac{30kV}{0,4kV} = 75$$

$$R_2 = \frac{4,72}{75^2} = 0,83 \text{ m}\Omega$$

$$X_2 = \frac{26,58}{75^2} = 4,7 \text{ m}\Omega$$

30) 100 kVA, 2400/240 V'luk tek fazlı bir transformatörün ikincil sargı açık devre iken yapılan deneyde gerilim 2400 V, akım 0,8 A, güç ise 300 W ve ikincil sargı uçlarındaki gerilim sıfır iken yapılan deneyde gerilim 156 V, akım 41,66 A, güç 433 W olarak ölçülüyor.

- Bağlı boşa çalışma akımını ve kısa devre gerilimini hesaplayınız
- Demir kayıplarını, boşa çalışma akımını ve bileşenleri hesaplayınız
- Eşdeğer devre parametrelerini hesaplayınız. L eşdeğer devresini çiziniz.

ÇÖZÜM

a) Boşa çalışma sırasında şebekeden çekilen akım 0,8 A ve kısa devre deneyinden anma akımı 41,66 A olarak verilmiştir. Kısa devre deneyi anma akımı için yapılmaktadır. Bu durumda bağlı boşa çalışma akımı;

$$i_0 = \frac{I_0}{I_n} \Rightarrow i_0 = \frac{0,8}{41,66} = \% 1,92$$

Kısa devre gerilimi 156 V ve primer sargının anma gerilimi 2400 V olarak verilmiştir. Bu durumda bağlı kısa devre gerilimi

$$v_k = \frac{V_k}{V_1} \Rightarrow v_k = \frac{156}{2400} = \% 6,5$$

b) Demir kayıpları boşa çalışma deneyinden elde edilen kayıplara denktir.

$$P_0 = P_{fe} = 300 \text{ W},$$

Boşa çalışma akımı $I_0=0,8 \text{ A}$

Bir fazlı transformatörde aktif güç ifadesi

$$P_0 = V_{10} \times I_0 \times \cos \varphi_0 \Rightarrow \cos \varphi_0 = \frac{P_0}{V_{10} \times I_0} = \frac{300}{2400 \times 0,8} = 0,156$$

$$\varphi_0 = 81^\circ$$

$$I_{fe} = I_0 \times \cos \varphi_0 = 0,8 \times \cos 81^\circ = 0,125 \text{ A}$$

$$I_\mu = I_0 \times \sin \varphi_0 = 23 \times \sin 84,32 = 0,79 \text{ A}$$

c) Demir direnci;

$$R_{fe} = \frac{V_1}{I_{fe}} = \frac{2400}{0,125} = 19,3 \text{ k}\Omega$$

Mıknatıslanma reaktansı ;

$$X_m = \frac{V_1}{I_\mu} = \frac{2400}{0,79} = 3,04 \text{ k}\Omega$$

$$P_{kn} = V_k \times I_{1n} \times \cos \varphi_k \Rightarrow \cos \varphi_k = \frac{P_{kn}}{V_{kn} \times I_{1n}} = \frac{433}{156 \times 41,66} = 0,067 \Rightarrow$$

$$\varphi_k = 86,18^\circ$$

Kısa devre empedansı ise;

$$Z_k = \frac{V_k}{I_n} = \frac{156}{41,66} = 3,74 \text{ }\Omega$$

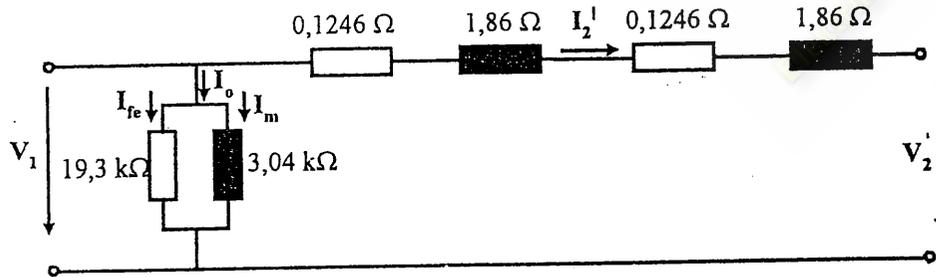
Kısa devre durumunda orta bacak ihmal edildiğinden

$$R_k = Z_k \times \cos \varphi_k = 3,74 \times \cos 86,18^\circ = 0,2493 \text{ }\Omega$$

$$R_1 = R_2 = \frac{R_k}{2} = 0,1246 \text{ }\Omega$$

$$X_k = Z_k \times \sin \varphi_k = 3,74 \times \sin 86,18^\circ = 3,73 \text{ }\Omega$$

$$X_1 = X_2 = \frac{X_k}{2} = 1,86 \text{ }\Omega$$



31) Üç fazlı bir güç transformatorünün plaka değerleri şunlardır
2 MVA, 30/0,4 kV, Yz5, 50 Hz, $v_{kn}=\%6$, $i_0=\%1,2$, $P_0=3,2 \text{ kW}$, $P_{kn}=21 \text{ kW}$
Eşdeğer devre elemanlarını hesaplayınız. L eşdeğer devresini çiziniz.

ÇÖZÜM

Boşta çalışma deneyi

Verilen parametrelerden ilk olarak anma akımını hesaplanır;

$$S_n = \sqrt{3} \times V_{1fa} \times I_{1hn}$$

$$I_{1hn} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \times V_{1fa}} = \frac{2 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 30 \times 10^3} = 38,5 \text{ A}$$

$$I_{1hn} = I_{1n} = 38,5 \text{ A}$$

Bağlı boşta çalışma akımı $i_0 = \%1,2$

$$i_0 = \frac{I_0}{I_{1n}}$$

$$I_0 = I_{1n} \times i_0 = 38,5 \times \frac{1,2}{100} = 0,462 \text{ A}$$

Bu durumda boşta çalışma güç faktörü ise;

$$P_0 = \sqrt{3} \times V_{1fa} \times I_0 \times \cos \varphi_0 \Rightarrow \cos \varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3} \times V_{1fa} \times I_0} = \frac{3200}{\sqrt{3} \times 30000 \times 0,462} =$$

$$\cos \varphi_0 = 0,13 \Rightarrow \varphi_0 = 82,53^\circ$$

Demir akımı;

$$I_{fe} = I_0 \times \cos \varphi_0 = 0,462 \times \cos 82,53 = 0,0601 \text{ A}$$

Mıknatıslanma akımı ;

$$I_\mu = I_0 \times \sin \varphi_0 = 0,462 \times \sin 82,53 = 0,4581 \text{ A}$$

Demir direnci;

$$R_{fe} = \frac{V_1}{I_{fe}} = \frac{30000/\sqrt{3}}{0,0601} = 288 \text{ k}\Omega$$

Mıknatıslanma reaktansı

$$X_m = \frac{V_1}{I_\mu} = \frac{30000/\sqrt{3}}{0,4581} = 37,81 \text{ k}\Omega$$

Kısa devre deneyi

Bağıl kısa devre gerilimi $\%v_k = \%6$

$$v_k = \frac{V_k}{V_1}$$

Kısa devre gerilimi ise

$$V_{1kfa} = v_k \times V_{1fa}$$

$$V_{1kfa} = \left(\frac{6}{100}\right) \times 30000 = 1800 \text{ V}$$

Kısa devre gücü ise;

$$P_{kn} = \sqrt{3} \times V_{1kfa} \times I_{1h} \times \cos \varphi_k$$

Buradan kısa devre güç faktörü;

$$\cos \varphi_k = \frac{P_{kn}}{\sqrt{3} \times V_{1kfa} \times I_{1h}} = \frac{21000}{\sqrt{3} \times 1800 \times 38,5} = 0,1749 \Rightarrow \varphi_k = 79,93^\circ$$

Kısa devre empedansı ise

$$Z_k = \frac{V_k}{I_{fn}} = \frac{18000/\sqrt{3}}{38,5} = 27 \Omega$$

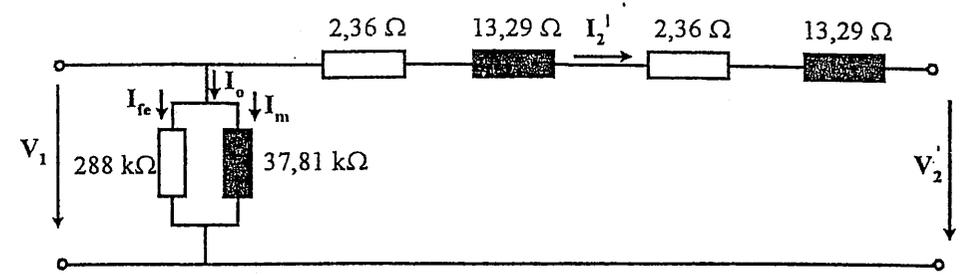
Kısa devre durumunda orta bacak ihmal edildiğinden

$$R_k = Z_k \times \cos \varphi_k = 27 \times \cos 79,93^\circ = 4,72 \Omega$$

$$R_1 = R_2 = \frac{R_k}{2} = 2,36 \Omega$$

$$X_k = Z_k \times \sin \varphi_k = 27 \times \sin 79,93^\circ = 26,58 \Omega$$

$$X_1 = X_2 = \frac{X_k}{2} = 13,29 \Omega$$



32) 1600 kVA gücünde Δ_{ys} , bağlı bir üç fazlı transformatörün bağlı boşa çalışma akımı $\%0,8$, boşa aktif gücü 2610 W, bağlı kısa devre gerilimi $\%6$ ve anma akımındaki bakır kayıpları 14550 W'dır. Bu indirici trafonun gerilimleri ise 15/0,4 kV'tur.

- T tipi eşdeğer devresinde bulunan akımları dirençleri ve reaktansları hesaplayınız
- Anma ve yarı yükünde verimlerini hesaplayınız Güç faktörü 0,8 endüktif alınacaktır.
- Güç faktörü değişmeden (0,8 endüktif yükleme), yükleme oranının $\%80$ olması durumunda meydana gelen gerilim düşümünü L tipi devreyi kullanarak hesaplayınız.

ÇÖZÜM

a) Verilen parametrelerden ilk olarak anma akımını hesaplanır;

$$S_n = \sqrt{3} \times V_{1fa} \times I_{1hn}$$

$$I_{1hn} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \times V_{1fa}} = \frac{1600 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 15 \times 10^3} = 61,58 \text{ A}$$

Primer sargı üçgen bağlı olduğundan faz sargısından geçen anma akımı;

$$I_{1n} = \frac{I_{1hn}}{\sqrt{3}} = \frac{61,58}{\sqrt{3}} = 35,55 \text{ A}$$

Boşa çalışma deneyi

Bağıl boşa çalışma akımı $i_0 = \%0,8$

$$i_0 = \frac{I_0}{I_{1n}}$$

$$I_{0h} = I_{1hn} \times i_0 = 61,58 \times \frac{0,8}{100} = 0,49 \text{ A}$$

$$I_0 = \frac{I_{0h}}{\sqrt{3}} = \frac{0,49}{\sqrt{3}} = 0,28 \text{ A}$$

Bu durumda boşa çalışma güç faktörü ise;

$$P_0 = \sqrt{3} \times V_{1fa} \times I_0 \times \cos \varphi_0 \Rightarrow \cos \varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3} \times V_{1fa} \times I_0} = \frac{2610}{\sqrt{3} \times 15000 \times 0,49}$$

$$\cos \varphi_0 = 0,205 \Rightarrow \varphi_0 = 78^\circ$$

Demir akımı;

$$I_{fe} = I_0 \times \cos \varphi_0 = 0,28 \times \cos 78 = 0,0574 \text{ A}$$

Mıknatıslanma akımı ;

$$I_\mu = I_0 \times \sin \varphi_0 = 0,28 \times \sin 78 = 0,27 \text{ A}$$

Demir direnci;

$$R_{fe} = \frac{V_1}{I_{fe}} = \frac{15000}{0,0574} = 261,32 \text{ k}\Omega$$

Mıknatıslanma reaktansı

$$X_m = \frac{V_1}{I_\mu} = \frac{15000}{0,27} = 55 \text{ k}\Omega$$

Kısa devre deneyi

Bağlı kısa devre gerilimi % v_k = % 6

$$v_k = \frac{V_k}{V_1}$$

Kısa devre gerilimi ise

$$V_{1k} = v_k \times V_{1fa}$$

$$V_{1k} = \left(\frac{6}{100} \right) \times 15000 = 900 \text{ V}$$

Primer üçgen bağlı olduğundan faz başına düşen gerilim faz-faz arası gerilime eşittir

Kısa devre gücü ise;

$$P_{kn} = \sqrt{3} \times V_{1k} \times I_{1h} \times \cos \varphi_k$$

Buradan kısa devre güç faktörü;

$$\cos \varphi_k = \frac{P_{kn}}{\sqrt{3} \times V_{1k} \times I_{1h}} = \frac{14550}{\sqrt{3} \times 900 \times 61,58} = 0,152 \Rightarrow \varphi_k = 81,26^\circ$$

Kısa devre deneyinden elde edilen sonuçlar transformatörün anma akımındaki bakır kayıplarına eşittir.

$$P_k = 3 \times I_{1n}^2 \times R_k \Rightarrow R_k = \frac{P_{kn}}{3 \times I_{1n}^2} = \frac{24000}{3 \times 35,55^2} = 3,84 \Omega$$

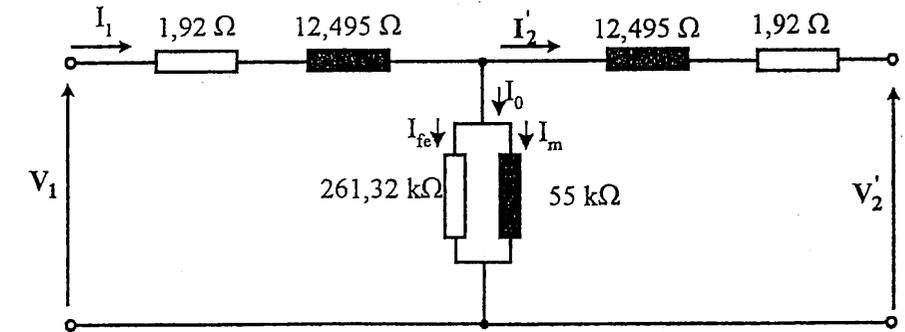
$$R_1 = R_2 = \frac{R_k}{2} = 1,92 \Omega$$

Kısa devre deneyinde çekilen reaktif güç ise kaçak reaktanslar üzerinde harcanmaktadır.

$$Q_{kn} = P_{kn} \times \tan \varphi_k = 14550 \times \tan 81,26 = 94608 \text{ VAR}$$

$$Q_{kn} = 3 \times I_{1n}^2 \times X_k \Rightarrow X_k = \frac{Q_{kn}}{3 \times I_{1n}^2} = \frac{94608}{3 \times (35,55)^2} = 24,99 \Omega$$

$$X_1 = X_2 = \frac{X_k}{2} = 12,495 \Omega$$



b) Anma akımındaki verimi;

$$\alpha = \frac{I_{1x}}{I_{1n}} = 1, \cos\varphi = 0,8;$$

$$\eta = \frac{\alpha \times S_n \times \cos\varphi}{\alpha \times S_n \times \cos\varphi + P_0 + \alpha^2 P_{kn}} = \frac{1 \times 1600 \times 10^3 \times 0,8}{1 \times 1600 \times 10^3 \times 0,8 + 2610 + 1^2 \times 14550}$$

$$\eta = \% 98,68$$

Yarı yükteki verimi ise

$$\alpha = \frac{I_{1x}}{I_{1n}} = 0,5, \cos\varphi = 0,8;$$

$$\eta = \frac{\alpha \times S_n \times \cos\varphi}{\alpha \times S_n \times \cos\varphi + P_0 + \alpha^2 P_{kn}} = \frac{0,5 \times 1600 \times 10^3 \times 0,8}{0,5 \times 1600 \times 10^3 \times 0,8 + 2610 + 0,5^2 \times 14550}$$

$$\eta = \% 99$$

c) Yükleme oranı % 80 olması durumunda meydana gelecek gerilim düşümü

$\Delta V = \alpha \times [(v_m \times \cos\varphi) + (v_{xn} \times \sin\varphi)]$ formülünden hesaplanır.

Bu hesaplama yöntemi kolay ve hızlı çözümü verir. Eş değer devre üzerinden yapılacak çözümler ile yaklaşık aynı sonucu daha hızlı sürede elde ederiz

$$v_m = \frac{I_n \times R_k}{V_1}$$

Denklemin pay ve paydası $3 \times I_n$ ile çarparsak

$$v_m = \frac{3 \times I_n^2 \times R_k}{3 \times I_n \times R_k} = \frac{P_{kn}}{S_n}$$

$$v_m = \frac{14550}{1600 \times 10^3} = \% 0,91$$

$$v_{xn} = \sqrt{v_{kn}^2 - v_m^2} = \sqrt{6^2 - 0,91^2} = \% 5,93$$

$$\Delta V = 0,8[(0,91 \times 0,8) + (5,93 \times 0,6)] = \% 3,42 \quad \Delta V = V_1 \times \% \Delta V = 513 \text{ V}$$

33) 1000 kVA, 20/0,4 kV, $u_{kn} = \%6$, $i_0 = \%3$, $f = 50$ Hz, Δy_s , bağlamalı transformatör boşa deneyinde 3460 W, kısa devre deneyinde ise 15900 W güç çekmektedir.

- a) Transformatörün tam eşdeğer devre parametrelerini hesaplayınız
b) Transformatör % 70 yükünde 0,85 endüktif güç katsayısında çalışırken verimini, gerilim düşümünü ve kayıplarını irdelleyiniz.

ÇÖZÜM

a) Verilen parametrelerden ilk olarak anma akımını hesaplanır;

$$S_n = \sqrt{3} \times V_{1fa} \times I_{1hn}$$

$$I_{1hn} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \times V_{1fa}} = \frac{1000 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 20 \times 10^3} = 28,86 \text{ A}$$

Primer sargı üçgen bağlı olduğundan faz sargısından geçen anma akımı;

$$I_{1n} = \frac{I_{1hn}}{\sqrt{3}} = \frac{28,86}{\sqrt{3}} = 16,66 \text{ A}$$

Boşa çalışma deneyi

Bağlı boşa çalışma akımı $i_0 = \% 3$

$$i_0 = \frac{I_0}{I_{1n}}$$

$$I_{0h} = I_{1hn} \times i_0 = 28,86 \times \frac{3}{100} = 0,86 \text{ A}$$

$$I_0 = \frac{I_{0h}}{\sqrt{3}} = \frac{0,49}{\sqrt{3}} = 0,28 \text{ A}$$

Bu durumda boşa çalışma güç faktörü ise;

$$P_0 = \sqrt{3} \times V_{1fa} \times I_{0h} \times \cos\varphi_0 \Rightarrow \cos\varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3} \times V_{1fa} \times I_{0h}} = \frac{3460}{\sqrt{3} \times 20000 \times 0,86}$$

$$\cos\varphi_0 = 0,12 \Rightarrow \varphi_0 = 83,11^\circ$$

Demir akımı;

$$I_{fe} = I_0 \times \cos\varphi_0 = 0,28 \times \cos 83,11^\circ = 0,058 \text{ A}$$

Mıknatıslanma akımı ;

$$I_{\mu} = I_0 \times \sin \varphi_0 = 0,49 \times \sin 83,11^{\circ} = 0,48 \text{ A}$$

Demir direnci;

$$R_{fe} = \frac{V_1}{I_{fe}} = \frac{20000}{0,058} = 344,82 \text{ k}\Omega$$

Mıknatıslanma reaktansı

$$X_m = \frac{V_1}{I_{\mu}} = \frac{20000}{0,27} = 41,66 \text{ k}\Omega$$

Kısa devre deneyi

Bağıl kısa devre gerilimi $\%v_k = \%6$

$$v_k = \frac{V_k}{V_1}$$

Kısa devre gerilimi ise

$$V_{1k} = v_k \times V_{1fa}$$

$$V_{1k} = \left(\frac{6}{100}\right) \times 20000 = 1200 \text{ V}$$

Primer sargı üçgen bağlı olduğundan bir faz eşdeğer devresine düşen gerilim fa-faz arası gerilime eşittir.

Kısa devre gücü ise;

$$P_{kn} = \sqrt{3} \times V_{1k} \times I_{1h} \times \cos \varphi_k$$

Buradan kısa devre güç faktörü;

$$\cos \varphi_k = \frac{P_{kn}}{\sqrt{3} \times V_{1k} \times I_{1h}} = \frac{15900}{\sqrt{3} \times 1200 \times 28,86} = 0,0159 \Rightarrow \varphi_k = 89,08^{\circ}$$

Kısa devre deneyinden elde edilen sonuçlar transformatörün anma akımındaki bakır kayıplarına eşittir.

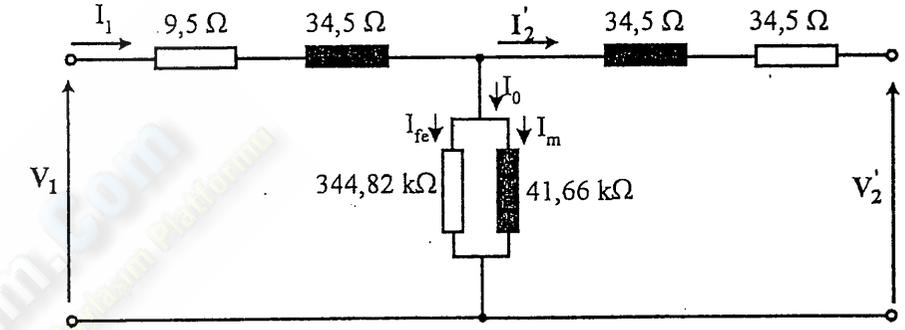
$$P_k = 3 \times I_{1n}^2 \times R_k \Rightarrow R_k = \frac{P_{kn}}{3 \times I_{1n}^2} = \frac{15900}{3 \times 16,66^2} = 19 \Omega$$

$$R_1 = R_2 = \frac{R_k}{2} = 9,5 \Omega$$

$$Z_k = \frac{V_k}{I_{nf}} = \frac{1200}{16,66} = 72 \Omega$$

$$X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2} = \sqrt{72^2 - 19^2} = 69 \Omega$$

$$X_1 = X_{2\sigma} = \frac{X_k}{2} = 34,5 \Omega$$



b) $\%70 \cos \varphi = 0,85$ endüktif yüklü durumda demir kayıpları değişmez ve bu kayıplar boşa çalışma deneyinden transformatörün şebekeden çektiği kayıplardır. Bu kaybın yüksek olması makinanın kalitesiz malzemeden yapıldığını gösterir.

$$P_0 = P_{fe} = 3460 \text{ W}$$

Herhangi bir yükleme durumunda bakır kayıpları

$$P_{cux} = 3 \times I_x^2 \times R_k$$

Anma çalışmasında bakır kayıpları

$$P_{cun} = 3 \times I_n^2 \times R_k$$

$$R_k = \frac{P_{cun}}{3 \times I_n^2} \text{ ve } \alpha = \frac{I_x}{I_n}$$

$$P_{cux} = 3 \times I_x^2 \times \frac{P_{cun}}{3 \times I_n^2} = \left(\frac{I_x}{I_n}\right)^2 \times P_{cun} = (\alpha)^2 \times P_{cun}$$

Bu yüklenme durumunda bakır kayıpları ;

$$P_{\text{cux}} = \alpha^2 \times P_{\text{cun}} = (0,75)^2 \times 297000 = 7791 \text{ W}$$

Verim ise,

$$\eta = \frac{\alpha \times S_n \times \cos \varphi}{\alpha \times S_n \times \cos \varphi + P_0 + \alpha^2 P_{\text{kn}}} = \frac{0,7 \times 1000 \times 10^3 \times 0,85}{0,7 \times 1000 \times 10^3 \times 0,85 + 3460 + 0,70^2 \times 15900}$$

$$\eta = \% 98$$

Yükleme oranı % 70 olması durumunda meydana gelecek gerilim düşümü

$\Delta V = x \times [(v_m \times \cos \varphi) + (v_{\text{xn}} \times \sin \varphi)]$ formülünden hesaplanır.

Bu hesaplama yöntemi kolay ve hızlı çözümü verir. Eş değer devre üzerinden yapılacak çözümler ile yaklaşık aynı sonucu daha hızlı sürede elde ederiz

$$v_m = \frac{I_n \times R_k}{V_1}$$

Denklemin pay ve paydası $3 \times I_n$ ile çarparsak

$$v_m = \frac{3 \times I_n^2 \times R_k}{3 \times I_n \times R_k} = \frac{P_{\text{kn}}}{S_n}$$

$$v_m = \frac{15900}{1000 \times 10^3} = \% 1,6$$

$$v_{\text{xn}} = \sqrt{v_{\text{kn}}^2 - v_m^2} = \sqrt{4^2 - 1,38^2} = \% 5,78$$

$$\Delta V = 0,7 [(1,6 \times 0,85) + (5,78 \times 0,53)] = \% 3$$

34) Gücü 250 kVA olan Yy_0 bağlı 3 fazlı transformatörün gerilimleri 6300/380 V $f=50$ Hz'dir. Diğer parametreler ise $i_0=\%1$ $P_0=1200$ W, $v_k=\%4$, $P_{\text{kn}}=2800$ W olarak verilmiştir.

a) Yaklaşık eşdeğer devre için devre parametrelerini hesaplayınız

b) Elde edilen değerlerden sekonderin gerçek değerlerini hesaplayınız

ÇÖZÜM

a) Verilen parametrelerden ilk olarak anma akımını hesaplanır;

$$S_n = \sqrt{3} \times V_{\text{1fa}} \times I_{\text{1hn}}$$

$$I_{\text{1hn}} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \times V_{\text{1fa}}} = \frac{250 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 6300} = 22,91 \text{ A}$$

$$I_{\text{1hn}} = I_{\text{1n}} = 22,91 \text{ A}$$

Boşta çalışma deneyi

Bağlı boşta çalışma akımı $i_0 = \%1$

$$i_0 = \frac{I_0}{I_{\text{1n}}}$$

$$I_0 = I_{\text{1n}} \times i_0 = 22,91 \times \frac{1}{100} = 0,23 \text{ A}$$

Bu durumda boşta çalışma güç faktörü ise;

$$P_0 = \sqrt{3} \times V_{\text{1fa}} \times I_0 \times \cos \varphi_0 \Rightarrow \cos \varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3} \times V_{\text{1fa}} \times I_0} = \frac{1200}{\sqrt{3} \times 6300 \times 0,23}$$

$$\cos \varphi_0 = 0,478 \Rightarrow \varphi_0 = 61,44^\circ$$

$$P_0 = P_{\text{fe}} = 3 \times I_{\text{fe}}^2 \times R_{\text{fe}} = 3 \times \left(\frac{V_1}{R_{\text{fe}}} \right)^2 \times R_{\text{fe}} = 3 \times \frac{V_1^2}{R_{\text{fe}}}$$

$$P_{\text{fe}} = 3 \times \frac{V_1^2}{R_{\text{fe}}}$$

$$R_{\text{fe}} = 3 \times \frac{V_1^2}{P_{\text{fe}}}$$

$$R_{\text{fe}} = 3 \times \frac{\left(\frac{6300}{\sqrt{3}} \right)^2}{1200} = 33,075 \text{ k}\Omega$$

Gerilim primer kısım yıldız bağlı olduğundan $\sqrt{3}$ 'e bölünmüştür.

Mıknatıslanma reaktansıda aynı şekilde

$$X_m = 3 \times \frac{V_1^2}{Q_0}$$

$$Q_0 = P_0 \times \tan \varphi_0 = 1200 \times \tan 61,44^\circ = 2204,5 \text{ Var}$$

$$X_m = 3 \times \frac{\left(\frac{6300}{\sqrt{3}}\right)^2}{2204,5} = 18 \text{ k}\Omega$$

Kısa devre çalışma deneyi

Bağıl kısa devre gerilimi $\%v_k = \%4$

$$v_k = \frac{V_k}{V_1}$$

Kısa devre gerilimi ise

$$V_{1kfa} = v_k \times V_{1fa}$$

$$V_{1kfa} = \left(\frac{4}{100}\right) \times 6300 = 252 \text{ V}$$

Primer sargı üçgen bağlı olduğundan bir faz eşdeğer devresine düşen gerilim fa-faz arası gerilime eşittir.

Kısa devre gücü ise;

$$P_{kn} = \sqrt{3} \times V_{1kf} \times I_{1h} \times \cos \varphi_k$$

Buradan kısa devre güç faktörü;

$$\cos \varphi_k = \frac{P_{kn}}{\sqrt{3} \times V_{1kfa} \times I_{1h}} = \frac{2800}{\sqrt{3} \times 252 \times 22,91} = 0,28 \Rightarrow \varphi_k = 73,74^\circ$$

Kısa devre deneyinden elde edilen sonuçlar transformatörün anma akımındaki bakır kayıplarına eşittir.

$$P_k = 3 \times I_{1n}^2 \times R_k \Rightarrow R_k = \frac{P_{kn}}{3 \times I_{1n}^2} = \frac{2800}{3 \times 22,91^2} = 1,778 \text{ }\Omega$$

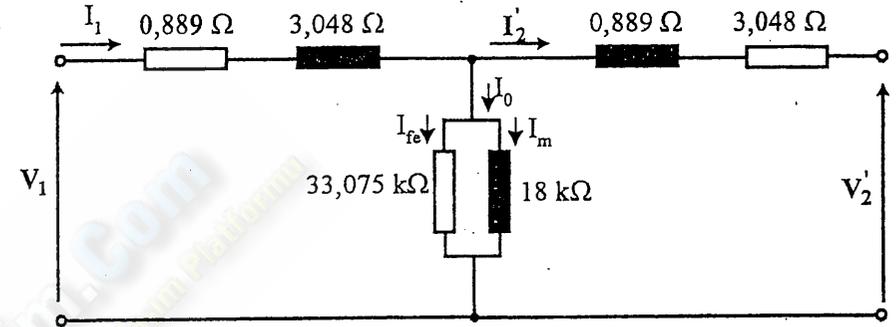
$$R_1 = R_2 = \frac{R_k}{2} = 0,889 \text{ }\Omega$$

Kısa devre deneyinde çekilen reaktif güç ise kaçak reaktanslar üzerinde harcanmaktadır.

$$Q_{kn} = P_{kn} \times \tan \varphi_k = 2800 \times \tan 73,74 = 9599,9 \text{ VAr}$$

$$Q_{kn} = 3 \times I_{1n}^2 \times X_k \Rightarrow X_k = \frac{Q_{kn}}{3 \times I_{1n}^2} = \frac{9599,9}{3 \times (22,91)^2} = 6,097 \text{ }\Omega$$

$$X_1 = X_2 = \frac{X_k}{2} = 3,048 \text{ }\Omega$$



$$b) R_2 = \frac{R_2'}{u^2}$$

$$u = \frac{6300}{380} = 16,58$$

$$R_2 = \frac{0,889}{16,58^2} = 11,1 \text{ m}\Omega$$

$$X_2 = \frac{3,048}{16,58^2} = 3,2 \text{ m}\Omega$$

35) 500 kVa gücünde Y/Y bağlı 1500/400V f=50 Hz'lik bir üç fazlı transformatörün plakasında şu değerler okunuyor.

$$P_0=1000 \text{ W}, P_{kn}=6250 \text{ W}, i_0=\%1,9 \text{ } v_k=\%4,$$

a) Eşdeğer devre parametrelerinin primere indirgenmiş değerlerini hesaplayınız

b) Bu değerlerin primer ve sekonder yanlarındaki gerçek değerlerini hesaplayınız.

ÇÖZÜM

a) Verilen parametrelerden ilk olarak anma akımını hesaplanır;

$$S_n = \sqrt{3} \times V_{1fa} \times I_{1hn}$$

$$I_{1hn} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \times V_{1fa}} = \frac{500 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 15000} = 19,245 \text{ A}$$

$$I_{1hn} = I_{1n} = 19,245 \text{ A}$$

Boşta çalışma deneyi

Bağıl boşta çalışma akımı $i_0 = \%1,9$

$$i_0 = \frac{I_0}{I_{1n}}$$

$$I_0 = I_{1n} \times i_0 = 19,245 \times \frac{1,9}{100} = 0,366 \text{ A}$$

Bu durumda boşta çalışma güç faktörü ise;

$$P_0 = \sqrt{3} \times V_{1fa} \times I_0 \times \cos \varphi_0 \Rightarrow \cos \varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3} \times V_{1fa} \times I_0} = \frac{1000}{\sqrt{3} \times 15000 \times 0,366} =$$

$$\cos \varphi_0 = 0,105 \Rightarrow \varphi_0 = 83,97^\circ$$

Demir akımı;

$$I_{fe} = I_0 \times \cos \varphi_0 = 0,366 \times \cos 83,97^\circ = 0,0384 \text{ A}$$

Mıknatıslanma akımı ;

$$I_\mu = I_0 \times \sin \varphi_0 = 0,366 \times \sin 83,97^\circ = 0,3640 \text{ A}$$

Demir direnci;

$$R_{fe} = \frac{V_1}{I_{fe}} = \frac{15000/\sqrt{3}}{0,0384} = 225,5 \text{ k}\Omega$$

Mıknatıslanma reaktansı

$$X_m = \frac{V_1}{I_\mu} = \frac{15000/\sqrt{3}}{0,3640} = 23,8 \text{ k}\Omega$$

Kısa devre deneyi

Bağıl kısa devre gerilimi $\%v_k = \%4$

$$v_k = \frac{V_k}{V_1}$$

Kısa devre gerilimi ise

$$V_{1kfa} = v_k \times V_{1fa}$$

$$V_{1kfa} = \left(\frac{4}{100}\right) \times 15000 = 600 \text{ V}$$

Kısa devre gücü ise;

$$P_{kn} = \sqrt{3} \times V_{1kfa} \times I_{1h} \times \cos \varphi_k$$

Buradan kısa devre güç faktörü;

$$\cos \varphi_k = \frac{P_{kn}}{\sqrt{3} \times V_{1kfa} \times I_{1h}} = \frac{6250}{\sqrt{3} \times 600 \times 19,245} = 0,313 \Rightarrow \varphi_k = 71,76^\circ$$

Kısa devre empedansı ise

$$Z_k = \frac{V_k}{I_n} = \frac{600/\sqrt{3}}{19,245} = 18 \text{ }\Omega$$

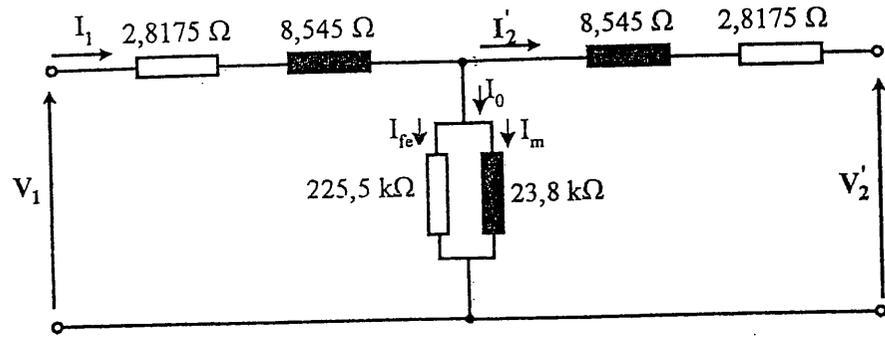
Kısa devre durumunda orta bacak ihmal edildiğinden

$$R_k = Z_k \times \cos \varphi_k = 18 \times \cos 71,76^\circ = 5,635 \text{ }\Omega$$

$$R_1 = R_2 = \frac{R_k}{2} = 2,8175 \text{ }\Omega$$

$$X_k = Z_k \times \sin \varphi_k = 18 \times \sin 71,76^\circ = 17,09 \text{ }\Omega$$

$$X_1 = X_2 = \frac{X_k}{2} = 8,545 \text{ }\Omega$$



b) Gerçek değerler ise

$$R_2 = \frac{R_2'}{u^2}$$

$$u = \frac{15000}{400} = 37,5$$

$$R_2 = \frac{2,8175}{37,5^2} = 2 \text{ m}\Omega$$

$$X_2 = \frac{8,545}{37,5^2} = 6,1 \text{ m}\Omega$$

36) Y_{y0} bağlı üç fazlı 1000 kVA'lık bir trafonun boşa çalışma deneyinde çektiği güç 2000 W, bağlı boşa çalışma akımı % 0,75'tir. Aynı trafonun anma akımında kısa devre deneyi yapıldığında sekonder kısa devre iken primerde 14700 W okunuyor ve bağlı kısa devre geriliminin % 5 olduğu belirlenmiştir. Anma gerilimleri 16/0,4 kV değerindedir. Eşdeğer devre parametrelerini hesaplayınız

ÇÖZÜM

Transformatörün plaka değerlerinden yola çıkarak;

$$S_n = \sqrt{3} \times V_{1fa} \times I_{1hn}$$

$$I_{1hn} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \times V_{1fa}} = \frac{1000 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 16000} = 36,08 \text{ A}$$

$$I_{1hn} = I_{1n} = 19,245 \text{ A}$$

Boşa çalışma deneyi

Bağlı boşa çalışma akımı $i_0 = \%0,75$

$$i_0 = \frac{I_0}{I_{1n}}$$

$$I_0 = I_{1n} \times i_0 = 19,245 \times \frac{1,9}{100} = 0,2856 \text{ A}$$

Bu durumda boşa çalışma güç faktörü ise;

$$P_0 = \sqrt{3} \times V_{1fa} \times I_0 \times \cos \varphi_0 \Rightarrow \cos \varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3} \times V_{1fa} \times I_0} = \frac{2000}{\sqrt{3} \times 16000 \times 0,2856}$$

$$\cos \varphi_0 = 0,253 \Rightarrow \varphi_0 = 75,35^\circ$$

Demir akımı;

$$I_{fe} = I_0 \times \cos \varphi_0 = 0,2856 \times \cos 75,35^\circ = 0,0723 \text{ A}$$

Mıknatıslanma akımı ;

$$I_\mu = I_0 \times \sin \varphi_0 = 0,2856 \times \sin 75,35^\circ = 0,276 \text{ A}$$

Demir direnci;

$$R_{fe} = \frac{V_1}{I_{fe}} = \frac{16000/\sqrt{3}}{0,0723} = 127 \text{ k}\Omega$$

Mıknatıslanma reaktansı

$$X_m = \frac{V_1}{I_\mu} = \frac{16000/\sqrt{3}}{0,276} = 33,6 \text{ k}\Omega$$

Kısa devre deneyi

Bağlı kısa devre gerilimi $\%v_k = \%5$

$$v_k = \frac{V_k}{V_1}$$

Kısa devre gerilimi ise

$$V_{1kfa} = v_k \times V_{1fa}$$

$$V_{1kfa} = \left(\frac{5}{100}\right) \times 16000 = 800 \text{ V}$$

Kısa devre gücü ise;

$$P_{kn} = \sqrt{3} \times V_{1kfa} \times I_{1h} \times \cos \varphi_k$$

Buradan kısa devre güç faktörü;

$$\cos \varphi_k = \frac{P_{kn}}{\sqrt{3} \times V_{1kfa} \times I_{1h}} = \frac{14700}{\sqrt{3} \times 800 \times 36,08} = 0,294 \Rightarrow \varphi_k = 72,90^\circ$$

Kısa devre empedansı ise

$$Z_k = \frac{V_k}{I_n} = \frac{800/\sqrt{3}}{36,08} = 12,80 \Omega$$

Gerilimin $\sqrt{3}$ 'e bölünmesi primerin yıldız bağlı olmasından kaynaklanıyor.

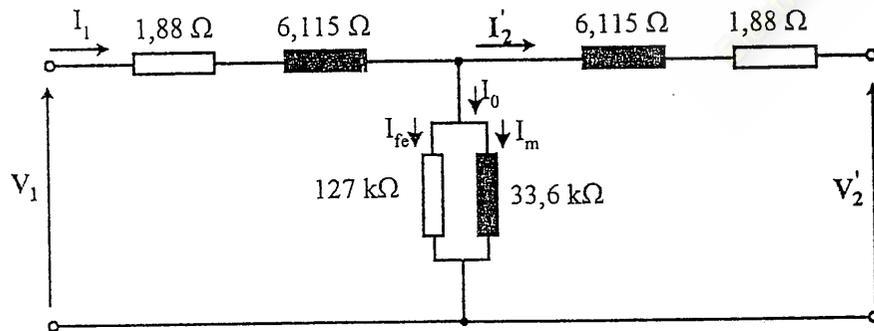
Kısa devre durumunda orta bacak ihmal edildiğinden

$$R_k = Z_k \times \cos \varphi_k = 12,80 \times \cos 72,90^\circ = 3,76 \Omega$$

$$R_1 = R_2 = \frac{R_k}{2} = 1,88 \Omega$$

$$X_k = Z_k \times \sin \varphi_k = 12,80 \times \sin 72,90^\circ = 12,23 \Omega$$

$$X_1 = X_2 = \frac{X_k}{2} = 6,115 \Omega$$



- 37) Anma değerleri 800 kVA, 35/0,4 kV, 50 Hz ve Yy bağlı olan üç fazlı transformatörün bağlı kısa devre gerilimi % 5, boşa gücü 1520 W, kısa devre anma kayıpları 9700 W 'dır. Transformatörün güç katsayısının 0,8 kapasitif ve yüklenme oranının % 75 olması durumunda demir, bakır kayıplarını, verimi ve sekonder çıkış gerilimini hesaplayınız (L eşdeğer devreyi kullanarak)

ÇÖZÜM

% 75 $\cos \varphi = 0,8$ endüktif yüklü durumda demir kayıpları değişmez ve bu kayıplar boşa çalışma deneyinden transformatörün şebekeden çektiği kayıplardır. Bu kaybın yüksek olması makinanın kalitesiz malzemeden yapıldığını gösterir.

$$P_0 = P_{fe} = 1520 \text{ W}$$

Herhangi bir yükleme durumunda bakır kayıpları

$$P_{cux} = 3 \times I_x^2 \times R_k$$

Anma çalışmasında bakır kayıpları

$$P_{cun} = 3 \times I_n^2 \times R_k$$

$$R_k = \frac{P_{cun}}{3 \times I_n^2} \text{ ve } \alpha = \frac{I_x}{I_n}$$

$$P_{cux} = 3 \times I_x^2 \times \frac{P_{cun}}{3 \times I_n^2} = \left(\frac{I_x}{I_n}\right)^2 \times P_{cun} = (\alpha)^2 \times P_{cun}$$

Bu yüklenme durumunda bakır kayıpları ;

$$P_{cux} = \alpha^2 \times P_{cun} = (0,75)^2 \times 9700 = 7275 \text{ W}$$

Verim ise,

$$\eta = \frac{\alpha \times S_n \times \cos \varphi}{\alpha \times S_n \times \cos \varphi + P_0 + \alpha^2 P_{kn}} = \frac{0,7 \times 1000 \times 10^3 \times 0,85}{0,7 \times 1000 \times 10^3 \times 0,85 + 3460 + 0,70^2 \times 15900}$$

$$\eta = 98$$

Gerilim düşümünü şu şekilde hesaplayabiliriz.

$$\Delta V = I_{1nf} \angle \phi (R_k + jX_k)$$

Transformatörün plaka değerlerinden yola çıkarak;

$$S_n = \sqrt{3} \times V_{1fa} \times I_{1hn}$$

$$I_{1hn} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \times V_{1fa}} = \frac{800 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 35000} = 13,196 \text{ A}$$

$$I_{1hn} = I_{1n} = 19,245 \text{ A}$$

Bağıl kısa devre gerilimi $\%v_k = \%5$

$$v_k = \frac{V_k}{V_1}$$

Kısa devre gerilimi ise

$$V_{1kfa} = v_k \times V_{1fa}$$

$$V_{1kfa} = \left(\frac{5}{100}\right) \times 35000 = 1750 \text{ V}$$

Kısa devre gücü ise;

$$P_{kn} = \sqrt{3} \times V_{1kfa} \times I_{1h} \times \cos \phi_k$$

Buradan kısa devre güç faktörü;

$$\cos \phi_k = \frac{P_{kn}}{\sqrt{3} \times V_{1kfa} \times I_{1h}} = \frac{14700}{\sqrt{3} \times 800 \times 36,08} = 0,294 \Rightarrow \phi_k = 75,96^\circ$$

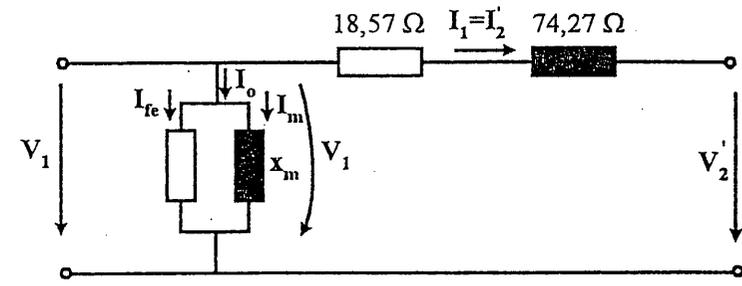
Kısa devre deneyinden elde edilen sonuçlar transformatörün anma akımındaki bakır kayıplarına eşittir.

$$P_k = 3 \times I_{1n}^2 \times R_k \Rightarrow R_k = \frac{P_{kn}}{3 \times I_{1n}^2} = \frac{9700}{3 \times 13,196^2} = 18,57 \Omega$$

Kısa devre deneyinde çekilen reaktif güç ise kaçak reaktanslar üzerinde harcanmaktadır.

$$Q_{kn} = P_{kn} \times \tan \phi_k = 9700 \times \tan 75,96 = 38797 \text{ VAR}$$

$$Q_{kn} = 3 \times I_{1n}^2 \times X_k \Rightarrow X_k = \frac{Q_{kn}}{3 \times I_{1n}^2} = \frac{38797}{3 \times (13,196)^2} = 74,27 \Omega$$



Primer akım ile sekonder akım arasındaki fark boşa çalışma akımı kadardır.

Bu ise primer akımın $\%1-2$ arasında olduğundan ihmal edilebilir.

Gerilim düşümü

$$\alpha = \frac{I_{fx}}{I_{fn}} \Rightarrow I_{fx} = \alpha \times I_{fn}$$

$$I_x = 0,75 \times 13,196 = 9,897 \text{ A}$$

$$\Delta V = I_{1x} \angle \phi (R_k + jX_k)$$

Kapasitif yüklü durumda

$$\Delta V = I_{1x} \angle + \phi (R_k + jX_k)$$

$$\Delta V = I_{1x} (\cos \phi + j \sin \phi) \times (R_k + jX_k)$$

$$\cos \phi = 36,86$$

$$\Delta V = 9,897 \times (0,8 + j0,6) \times (18,57 + j74,27)$$

$$\Delta V = -294 + j698,31$$

$$V_2' = V_1 - \Delta V = \frac{35000}{\sqrt{3}} - (-294 + j698,31) = 20501 - j698,31$$

$$V_2' = 20513 \angle -1,95$$

$$\bar{u} = \frac{35000}{400} = 87,5$$

$$V_2 = \frac{V_2'}{\bar{u}} = \frac{20513}{87,5} = 234 \text{ V}$$

$$V_{2fa} = V_2 \times \sqrt{3} = 234 \times \sqrt{3} = 405,29 \text{ V}$$

38) Plaka değerleri $S=1250$ kVA 35/0,4 kV, $P_0=1950$ W, $P_{kn}=14000$ W, $v_k=\%6$, $i_0=\%0,85$, $f=50$ Hz, olan üç fazlı Δy_3 bağlı transformatör için

- Yaklaşık eşdeğer devresini primere indirgenmiş değerlerini hesaplayınız.
- Parametrelerin gerçek değerlerini hesaplayınız
- Transformatör anma yükünün $\frac{3}{4}$ 'ünde güç faktörü 0.85 endüktif durumda çalışırken sekonder tarafının bağlı olduğu baranın çektiği akımı ve baranın faz-faz arası gerilimini hesaplayınız.

ÇÖZÜM

a) Transformatörün plaka değerlerinden yola çıkarak;

$$S_n = \sqrt{3} \times V_{1fa} \times I_{1hn}$$

$$I_{1hn} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \times V_{1fa}} = \frac{1250 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 35000} = 20,62 \text{ A}$$

Primer sargı üçgen bağlı olduğundan faz sargısından geçen anma akımı;

$$I_{1n} = \frac{I_{1hn}}{\sqrt{3}} = \frac{20,62}{\sqrt{3}} = 11,90 \text{ A}$$

Boşta çalışma deneyi

Bağlı boşta çalışma akımı $i_0 = \%0,85$

$$i_0 = \frac{I_0}{I_{1n}}$$

$$I_{0h} = I_{1hn} \times i_0 = 20,62 \times \frac{0,85}{100} = 0,1753 \text{ A}$$

$$I_0 = \frac{I_{0h}}{\sqrt{3}} = \frac{0,1753}{\sqrt{3}} = 0,1012 \text{ A}$$

Bu durumda boşta çalışma güç faktörü ise;

$$P_0 = \sqrt{3} \times V_{1fa} \times I_{0h} \times \cos \varphi_0 \Rightarrow \cos \varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3} \times V_{1fa} \times I_{0h}} = \frac{1950}{\sqrt{3} \times 35000 \times 0,1753}$$

$$\cos \varphi_0 = 0,1835 \Rightarrow \varphi_0 = 79,43^\circ$$

$$P_0 = P_{fe} = 3 \times I_{fe}^2 \times R_{fe} = 3 \times \left(\frac{V_1}{R_{fe}} \right)^2 \times R_{fe} = 3 \times \frac{V_1^2}{R_{fe}}$$

$$P_{fe} = 3 \times \frac{V_1^2}{R_{fe}}$$

$$R_{fe} = 3 \times \frac{V_1^2}{P_{fe}}$$

$$R_{fe} = 3 \times \frac{(35000)^2}{1950} = 1,8 \text{ M}\Omega$$

Gerilim primer kısım yıldız bağlı olduğundan $\sqrt{3}$ 'e bölünmüştür.

Miknatıslanma reaktansıda aynı şekilde

$$X_m = 3 \times \frac{V_1^2}{Q_0}$$

$$Q_0 = P_0 \times \tan \varphi_0 = 1950 \times \tan 79,43^\circ = 10450 \text{ VAR}$$

$$X_m = 3 \times \frac{35000^2}{10450} = 351,7 \text{ k}\Omega$$

Kısa devre çalışma deneyi

Bağlı kısa devre gerilimi $\%v_k = \%6$

$$v_k = \frac{V_k}{V_1}$$

Kısa devre gerilimi ise

$$V_{1kfa} = v_k \times V_{1fa}$$

$$V_{1kfa} = \left(\frac{6}{100} \right) \times 35000 = 2100 \text{ V}$$

Primer sargı üçgen bağlı olduğundan bir faz eşdeğer devresine düşen gerilim fa-faz arası gerilime eşittir.

Kısa devre gücü ise;

$$P_{kn} = \sqrt{3} \times V_{1kf} \times I_{1h} \times \cos \varphi_k$$

Buradan kısa devre güç faktörü;

$$\cos \varphi_k = \frac{P_{kn}}{\sqrt{3} \times V_{1kfa} \times I_{1h}} = \frac{14000}{\sqrt{3} \times 2100 \times 20,62} = 0,1867 \Rightarrow \varphi_k = 79,24^\circ$$

Kısa devre deneyinden elde edilen sonuçlar transformatörün anma akımındaki bakır kayıplarına eşittir.

$$P_k = 3 \times I_{1fn}^2 \times R_k \Rightarrow R_k = \frac{P_{kn}}{3 \times I_{1fn}^2} = \frac{14000}{3 \times 11,90^2} = 32,95 \Omega$$

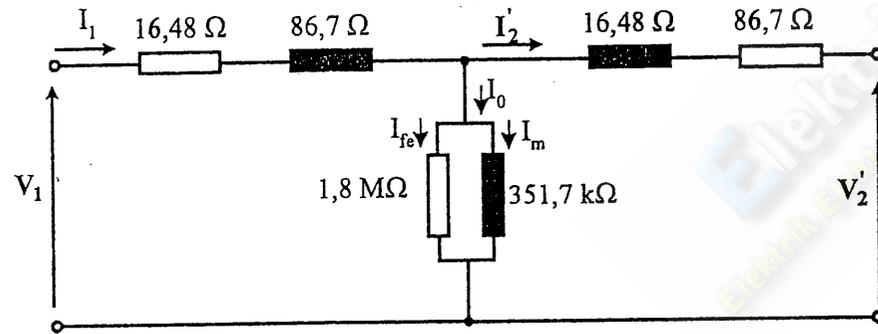
$$R_1 = R_2 = \frac{R_k}{2} = 16,48 \Omega$$

Kısa devre deneyinde çekilen reaktif güç ise kaçak reaktanslar üzerinde harcanmaktadır.

$$Q_{kn} = P_{kn} \times \tan \varphi_k = 14000 \times \tan 79,24 = 73670 \text{ VAR}$$

$$Q_{kn} = 3 \times I_{1fn}^2 \times X_k \Rightarrow X_k = \frac{Q_{kn}}{3 \times I_{1fn}^2} = \frac{73670}{3 \times (11,90)^2} = 173,41 \Omega$$

$$X_1 = X_2 = \frac{X_k}{2} = 86,7 \Omega$$



b) Sekonder sargının gerçek değerleri

$$R_2 = \frac{R_2'}{\dot{u}^2}$$

$$\dot{u} = \frac{35000}{\frac{400}{\sqrt{3}}} = 151,55$$

$$R_2 = \frac{16,48}{151,55^2} = 71,7 \text{ m}\Omega$$

$$X_2 = \frac{86,7}{151,55^2} = 3,8 \text{ m}\Omega$$

c) Yükleme oranı $\frac{3}{4}$ ve 0,85 endüktif olması durumunda meydana gelecek gerilim düşümü

$$\Delta V = \alpha \times [(v_m \times \cos \varphi) + (v_{xn} \times \sin \varphi)] \text{ formülünden hesaplanır.}$$

Bu hesaplama yöntemi kolay ve hızlı çözümü verir. Eş değer devre üzerinden yapılacak çözümler ile yaklaşık aynı sonucu daha hızlı sürede elde ederiz

$$v_m = \frac{I_n \times R_k}{V_1}$$

Denklemin pay ve paydası $3 \times I_n$ ile çarparsak

$$v_m = \frac{3 \times I_n^2 \times R_k}{3 \times I_n \times R_k} = \frac{P_{kn}}{S_n}$$

$$v_m = \frac{14000}{1250 \times 10^3} = \% 1,12$$

$$v_{kn} = \% 6$$

$$v_{xn} = \sqrt{v_{kn}^2 - v_m^2} = \sqrt{6^2 - 1,12^2} = \% 5,89$$

Buradan ;

$$\Delta V = \alpha \times [(v_m \times \cos \varphi) + (v_{xn} \times \sin \varphi)]$$

$$\Delta V = \frac{3}{4} \times [(1,12 \times 0,85) + (5,89 \times 0,53)] = \% 3,01$$

$$V_2' = V_1 \times (1 - \Delta V);$$

$$V_2' = \frac{35000}{\sqrt{3}} \times (1 - \frac{3,01}{100}) = 33,95 \text{ kV}, \quad V_2 = \frac{V_2'}{\dot{u}} = \frac{33950}{151,55} = 224,018 \text{ V}$$

Faz-faz arası gerilim ise;

$$V_{2fa} = V_2 \times \sqrt{3} = 388 \text{ V}$$

- 39) Plaka değerleri $S = 1000$ kVA, boşa kaybı 3000 W, anma yükünde bakır kayıpları 21000 W, bağlı boşa çalışma akımı %1,1, bağlı kısa devre gerilimi $4,5$ anma gerilimleri $35/0,4$ kV olan yıldız bağlı ONAN transformatörün
- a) Birincil yana indirgenmiş T tipi eşdeğer devresinin parametrelerini hesaplayıp devresini çiziniz
- b) İkincil yandan çekilen güç 51 kW, ve $0,86$ endüktif güç faktöründedir. Yük uçlarındaki gerilimi hesaplayınız

ÇÖZÜM

a) Yıldız bağlı üç fazlı transformatörün eşdeğer devre parametreleri

Transformatörün anma akımı;

$$S_n = \sqrt{3} \times V_{1fa} \times I_{1n}$$

$$I_{1hn} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \times V_{1fa}} = \frac{1000 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 35 \times 10^3} = 16,49 \text{ A}$$

Plakada verilen değerler anma değerleridir. Bunlar makinanın tasarlandığı değerlerdir. Bu değerlere göre hesaplanan akımda anma akımıdır. Yıldız bağlı olduğundan hat anma akımı faz anma akımına eşittir.

$$I_{1hn} = I_{1n} = 16,49 \text{ A}$$

Boşa çalışma deneyi

Boşa çalışmada primer devrenin çektiği boşa çalışma akımı

$$i_0 = \frac{I_0}{I_{1n}}$$

$$I_0 = I_{1n} \times i_0 = 16,49 \times \frac{1,1}{100} = 0,181 \text{ A}$$

Bu durumda boşa çalışma güç faktörü ise;

$$P_0 = \sqrt{3} \times V_{1fa} \times I_0 \times \cos \varphi_0 \Rightarrow \cos \varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3} \times V_{1fa} \times I_0} = \frac{3000}{\sqrt{3} \times 35000 \times 0,181} =$$

$$\cos \varphi_0 = 0,27 \Rightarrow \varphi_0 = 74,13^\circ$$

Demir akımı;

$$I_{fe} = I_0 \times \cos \varphi_0 = 0,181 \times \cos 74,13^\circ = 0,049 \text{ A}$$

Mıknatıslanma akımı ;

$$I_\mu = I_0 \times \sin \varphi_0 = 0,181 \times \sin 74,13^\circ = 0,174 \text{ A}$$

Boşa çalışmada çekilen aktif güç demir direnci üzerinde harcanmaktadır.

$$P_0 = 3 \times I_{fe}^2 \times R_{fe}$$

$$R_{fe} = \frac{P_0}{3 \times I_{fe}^2} = \frac{3000}{3 \times 0,049^2} = 416,5 \text{ k}\Omega$$

Boşa çalışmada çekilen reaktif güç;

$$Q_0 = P_0 \times \tan \varphi_0$$

$$Q_0 = 3000 \times \tan 74,13 = 10556 \text{ VAR}$$

Boşa çalışmada çekilen reaktif güç ise mıknatıslanma reaktansı üzerinde harcanmaktadır.

$$X_m = \frac{Q_0}{3 \times I_\mu^2} = \frac{10556}{3 \times 0,174^2} = 116,2 \text{ k}\Omega$$

Kısa devre deneyi

Bağlı kısa devre gerilimi

$$\%U_{kn} = \frac{V_k}{V_1} \text{ olduğuna göre}$$

Kısa devre gerilimi;

$$V_{1kfa} = \%U_{kn} \times V_{1fa} \Rightarrow V_{1kfa} = \left(\frac{4,5}{100} \right) \times 35000 = 1575 \text{ V}$$

Burada hesaplanan gerilim değeri faz-faz arası gerilimdir. Yıldız bağlı sistemde bu 1 faz eşdeğer devresinin başına düşen gerilim faz-nötr gerilimdir..

Kısa devre gücü ise;

$$P_{kn} = \sqrt{3} \times V_{1kfa} \times I_{1h} \times \cos \varphi_k$$

Buradan kısa devre güç faktörü.

$$\cos \varphi_k = \frac{P_{kn}}{\sqrt{3} \times V_{1kfa} \times I_{1h}} = \frac{21000}{\sqrt{3} \times 1575 \times 16,49} = 0,47 \Rightarrow \varphi_k = 62,17^\circ$$

$$P_k = 3 \times I_{1n}^2 \times R_k \Rightarrow R_k = \frac{P_{kn}}{3 \times I_{1n}^2} = \frac{24000}{3 \times 40,1^2} = 25,74 \Omega$$

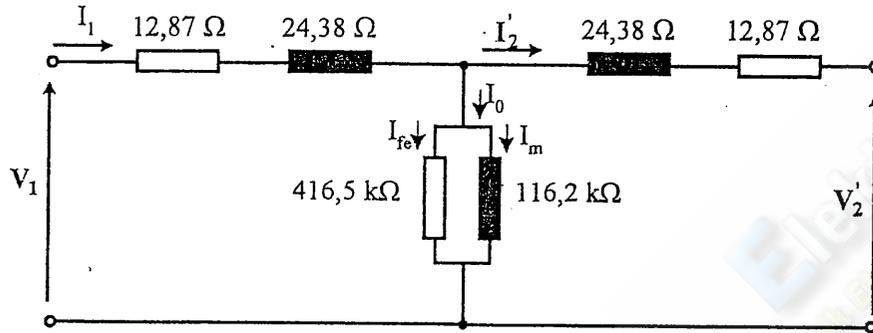
$$R_1 = R_2 = \frac{R_k}{2} = 12,87 \Omega$$

Kısa devre deneyinde çekilen reaktif güç ise kaçak reaktanslar üzerinde harcanmaktadır.

$$Q_{kn} = P_{kn} \times \tan \varphi_k = 21000 \times \tan 62,17 = 39782 \text{ VAR}$$

$$Q_{kn} = 3 \times I_{1n}^2 \times X_k \Rightarrow X_k = \frac{Q_{kn}}{3 \times I_{1n}^2} = \frac{39782}{3 \times (16,49)^2} = 48,76 \Omega$$

$$X_1 = X_2 = \frac{X_k}{2} = 24,38 \Omega$$



b) Sekonder kısımdan çekilen aktif güç 510 kW ve güç faktörü 0,86 (end) ise görünür güç ifadesi

$$S_2 = P_2 \times \cos \varphi$$

$$S_2 = \frac{510}{0,86} = 593 \text{ kVA}$$

Bu yük durumunda yüklenme faktörü

$$\alpha = \frac{S_{2x}}{S_n} = \frac{593}{1000} = 0,59$$

Yüklenme oranı 0,43 ve 0,86 endüktif karakterli yük olması durumunda meydana gelecek gerilim düşümü

$$\Delta V = \alpha \times [(v_m \times \cos \varphi) + (v_{xn} \times \sin \varphi)] \text{ formülünden hesaplanır.}$$

Bu hesaplama yöntemi kolay ve hızlı çözümü verir. Eş değer devre üzerinden yapılacak çözümler ile yaklaşık aynı sonucu daha hızlı sürede elde ederiz

$$v_m = \frac{I_n \times R_k}{V_1}$$

Denklemin pay ve paydası $3 \times I_n$ ile çarparsak

$$v_m = \frac{3 \times I_n^2 \times R_k}{3 \times I_n \times R_k} = \frac{P_{kn}}{S_n}$$

$$v_m = \frac{21000}{1000 \times 10^3} = \% 2,1$$

$$v_{kn} = \% 4,5$$

$$v_{xn} = \sqrt{v_{kn}^2 - v_m^2} = \sqrt{4,5^2 - 2,1^2} = \% 3,98$$

Buradan ;

$$\Delta V = \alpha \times [(v_m \times \cos \varphi) + (v_{xn} \times \sin \varphi)]$$

$$\Delta V = 0,59 \times [(2,1 \times 0,86) + (3,98 \times 0,51)] = \% 2,26$$

$$V_2' = V_1 \times (1 - \Delta V);$$

$$V_2' = \frac{35000}{\sqrt{3}} \times (1 - \frac{2,26}{100}) = 19,75 \text{ kV,}$$

$$ü = \frac{35000/\sqrt{3}}{400/\sqrt{3}} = 87,5$$

$$V_2 = \frac{V_2'}{ü} = \frac{19750}{87,5} = 225,72 \text{ V}$$

Faz-faz arası gerilim ise;

$$V_{2fa} = V_2 \times \sqrt{3} = 390,95 \text{ V}$$

- 40) 1600 kVA 15/0,4 kV'luk $Y_{\Delta 5}$ bağlı üç fazlı transformatörde $u_{kn}=\%6$, boştaki kayıpları 2450 W anma gücünde bakır kayıpları 14500 W'dır. Anma gücünde $\cos \varphi=0,8$ endüktif yüklenen transformatörde birincil ve ikincil gerilimi hat akımlarını sargı akımlarını ikincil gerilimi hesaplayınız.

ÇÖZÜM

Transformatörün plakasında verilen güç değeri esasında çıkış gücüdür. Sorularda kolaylık sağlaması ve transformatörün veriminin % 95-99 değerleri arasında olması yapılan bu varsayımı doğru kılmaktadır.

İlk olarak sekonder gerilimi hesaplırsak

$$\Delta V = \alpha \times [(v_m \times \cos \varphi) + (v_{xm} \times \sin \varphi)]$$

$$x=1 \quad \cos \varphi=0,8 \quad \sin \varphi=0,6$$

$$v_m = \frac{3 \times I_n^2 \times R_k}{3 \times I_n \times R_k} = \frac{P_{kn}}{S_n}$$

$$v_m = \frac{14500}{1600 \times 10^3} = \% 0,91$$

$$v_{kn} = \% 6$$

$$v_{xm} = \sqrt{v_{kn}^2 - v_m^2} = \sqrt{6^2 - 0,91^2} = \% 5,93$$

$$\Delta V = 1 \times [(0,91 \times 0,8) + (5,93 \times 0,6)] = \% 4,29$$

$$V_2' = V_1 \times (1 - \Delta V);$$

$$V_2' = \frac{15000}{\sqrt{3}} \times (1 - \frac{4,29}{100}) = 8,29 \text{ kV,}$$

$$\ddot{u} = \frac{15000/\sqrt{3}}{400} = 21,65$$

$$V_2 = \frac{V_2'}{\ddot{u}} = \frac{8290}{21,65} = 382,9 \text{ V}$$

Yıldız bağlı olduğundan faz-faz arası gerilim ise;

$$V_{2fa} = \frac{V_2}{\sqrt{3}} = \frac{382,9}{\sqrt{3}} = 210 \text{ V}$$

$$S_2 = \sqrt{3} \times V_2 \times I_2$$

$$I_2 = \frac{S_2}{\sqrt{3} \times V_2} = \frac{1600 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 382,9} = 2412,5 \text{ A}$$

$$P_{1n} = P_{2n} + P_{fe} + P_{kn}$$

Buradan sekonder taraftan çekilen aktif güç ifadesi;

$$P_{2n} = S_{2n} \times \cos \varphi_2 = 1600 \times 0,8 = 1280 \text{ kW}$$

$$P_{1n} = 1280000 + 2450 + 14500 = 1296950 \text{ W}$$

Kolaylık açısından $\cos \varphi_1 = \cos \varphi_2$ alınmıştır.

$$S_{1n} = \frac{P_{1n}}{\cos \varphi_1} = \frac{1296950}{0,8} = 1621,2 \text{ kVA}$$

$$I_{1n} = \frac{S_{1n}}{\sqrt{3} \times V_1} = \frac{1621200}{\sqrt{3} \times 15000} = 62,39 \text{ A}$$

- 41) 1000 kVA gücünde, 20/0,4 kV üçgen/yıldız bağlı bir transformatörün boşta çalışma gücü 2700 W, anma akımında bakır kayıpları 13000 W'dır. Boşta çalışma güç faktörünün açısı 80° , anma akımında kısa devre çalışma güç faktörünün açısı $73,13^\circ$ alınacaktır.

ÇÖZÜM

a) Transformatörün plaka değerlerinden yola çıkarak;

$$S_n = \sqrt{3} \times V_{1fa} \times I_{1hn}$$

$$I_{1hn} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \times V_{1fa}} = \frac{1000 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 20000} = 28,86 \text{ A}$$

Primer sargı üçgen bağlı olduğundan faz sargısından geçen anma akımı;

$$I_{1n} = \frac{I_{1hn}}{\sqrt{3}} = \frac{28,86}{\sqrt{3}} = 16,66 \text{ A}$$

Boşta çalışma deneyi

Boşta çalışma güç faktörü $\varphi_0 = 80^\circ$ ise;

$$P_0 = \sqrt{3} \times V_{1fa} \times I_{0h} \times \cos \varphi_0 \Rightarrow I_{0h} = \frac{P_0}{\sqrt{3} \times V_{1fa} \times \cos \varphi_0} = \frac{2700}{\sqrt{3} \times 20000 \times \cos 80}$$

$$I_{0h} = 0,45 \text{ A} \quad I_0 = \frac{I_{0h}}{\sqrt{3}} = 0,259 \text{ A}$$

$$I_{fe} = I_{0f} \times \cos \varphi_0 = 0,259 \times \cos 80 = 0,045 \text{ A}$$

$$I_{\mu} = I_{0f} \times \sin \varphi_0 = 0,259 \sin 80 = 0,255 \text{ A}$$

$$i_0 = \frac{0,45}{28,86} = \% 1,56$$

$$b) R_{fe} = \frac{V_1}{I_{fe}} = \frac{20000}{0,045} = 444 \text{ k}\Omega$$

$$X_m = \frac{V_1}{I_{\mu}} = \frac{20000}{0,255} = 78,43 \text{ k}\Omega$$

c) Kısa devre gücü ise;

$$P_{kn} = \sqrt{3} \times V_{1k} \times I_{1h} \times \cos \varphi_k$$

Buradan kısa devre gerilimi;

$$V_{1k} = \frac{P_{kn}}{\sqrt{3} \times I_{1h} \times \cos \varphi_k} = \frac{13000}{\sqrt{3} \times 28,86 \times \cos 73,13} = 896,16 \Rightarrow \varphi_k = 62,17^\circ$$

$$P_k = 3 \times I_{1n}^2 \times R_k \Rightarrow R_k = \frac{P_{kn}}{3 \times I_{1n}^2} = \frac{24000}{3 \times 40,1^2} = 25,74 \Omega$$

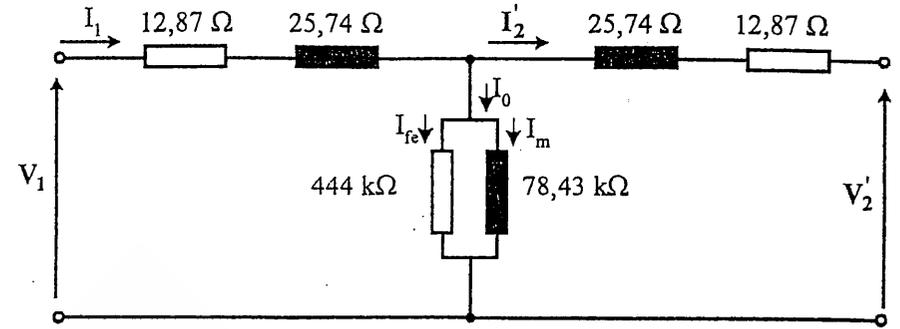
$$R_1 = R_2 = \frac{R_k}{2} = 12,87 \Omega$$

Kısa devre deneyinde çekilen reaktif güç ise kaçak reaktanslar üzerinde harcanmaktadır.

$$Q_{kn} = P_{kn} \times \tan \varphi_k = 13000 \times \tan 73,13 = 42869 \text{ VAR}$$

$$Q_{kn} = 3 \times I_{1n}^2 \times X_k \Rightarrow X_k = \frac{Q_{kn}}{3 \times I_{1n}^2} = \frac{42869}{3 \times (16,66)^2} = 51,48 \Omega$$

$$X_1 = X_2 = \frac{X_k}{2} = 25,74 \Omega$$



42) Anma değerleri 160 kVA, 10/0,38 kV, $v_k = \% 4$, $P_k = 2700 \text{ W}$ olan Δ/Δ bağlı transformatörde $i_0 = \% 1,5$ ve $P_0 = 810 \text{ W}$ verilmektedir. Eşdeğer devre için devre parametrelerini hesaplayınız. L tipi eşdeğer devresini çiziniz

ÇÖZÜM

Transformatörün eşdeğer devre elemanları

$$S_n = \sqrt{3} \times V_{1fa} \times I_{1hn}$$

$$I_{1hn} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \times V_{1fa}} = \frac{160 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 10000} = 9,24 \text{ A}$$

Primer sargı üçgen bağlı olduğundan faz sargısından geçen anma akımı;

$$I_{1n} = \frac{I_{1hn}}{\sqrt{3}} = \frac{9,24}{\sqrt{3}} = 5,33 \text{ A}$$

Boşta çalışma deneyi

Bağlı boşta çalışma akımı $i_0 = \% 1,5$

$$i_0 = \frac{I_0}{I_{1n}}$$

$$I_0 = I_{1n} \times i_0 = 19,245 \times \frac{1,9}{100} = 0,08 \text{ A}$$

$$I_0 = I_{1n} \times i_0 = 19,245 \times \frac{1,9}{100} = 0,1386 \text{ A}$$

Bu durumda boşa çalışma güç faktörü ise;

$$P_0 = \sqrt{3} \times V_{1fa} \times I_0 \times \cos \varphi_0 \Rightarrow \cos \varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3} \times V_{1fa} \times I_0} = \frac{810}{\sqrt{3} \times 10000 \times 0,1386}$$

$$\cos \varphi_0 = 0,3374 \Rightarrow \varphi_0 = 70,28^\circ$$

Demir akımı;

$$I_{fe} = I_0 \times \cos \varphi_0 = 0,08 \times \cos 70,28^\circ = 0,027 \text{ A}$$

Mıknatıslanma akımı ;

$$I_\mu = I_0 \times \sin \varphi_0 = 0,08 \times \sin 70,28^\circ = 0,0753 \text{ A}$$

Demir direnci;

$$R_{fe} = \frac{V_1}{I_{fe}} = \frac{10000}{0,027} = 370 \text{ k}\Omega$$

Mıknatıslanma reaktansı

$$X_m = \frac{V_1}{I_\mu} = \frac{10000}{0,0753} = 132 \text{ k}\Omega$$

Kısa devre deneyi

Bağlı kısa devre gerilimi % v_k = % 5

$$v_k = \frac{V_k}{V_1}$$

Kısa devre gerilimi ise

$$V_{1kfa} = v_k \times V_{1fa}$$

$$V_{1kfa} = \left(\frac{4}{100} \right) \times 10000 = 400 \text{ V}$$

Primer sargı üçgen bağlı sistemde eşdeğer devre başına düşen gerilim faz-faz arası gerilime eşittir.

$$V_{1kfa} = V_{1k}$$

$$\text{Kısa devre gücü ise; } P_{kn} = \sqrt{3} \times V_{1kfa} \times I_{1h} \times \cos \varphi_k$$

Buradan kısa devre güç faktörü;

$$\cos \varphi_k = \frac{P_{kn}}{\sqrt{3} \times V_{1kfa} \times I_{1h}} = \frac{5500}{\sqrt{3} \times 400 \times 9,24} = 0,294 \Rightarrow \varphi_k = 32^\circ$$

Kısa devre empedansı ise

$$Z_k = \frac{V_k}{I_n} = \frac{400}{5,33} = 75,05 \text{ }\Omega$$

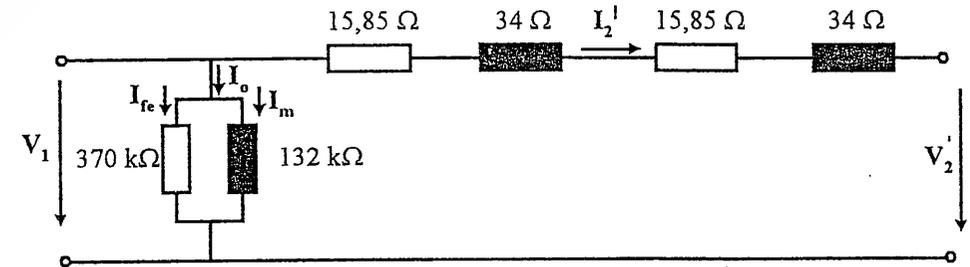
Kısa devre durumunda orta bacak ihmal edildiğinden

$$R_k = Z_k \times \cos \varphi_k = 75,05 \times \cos 32^\circ = 31,71 \text{ }\Omega$$

$$R_1 = R_2 = \frac{R_k}{2} = 15,85 \text{ }\Omega$$

$$X_k = Z_k \times \sin \varphi_k = 75,05 \times \sin 32^\circ = 68 \text{ }\Omega$$

$$X_1 = X_2 = \frac{X_k}{2} = 34 \text{ }\Omega$$



- 43) 125 kVA, 2200/220 V'luk bir fazlı trafoda yapılan boşa çalışma deneyinde vatmetre 1050 W, ampermetre 21 A, voltmetre 220 V'u göstermektedir. Birincil tarafından yapılan kısa devre deneyinde vatmetre 1200 W, ampermetre anma akımını, voltmetre 75 V'u göstermektedir. Trafo rejim sıcaklığına geldikten sonra primere bağlanan 3 ohmluk seri direnç ile 31,8 V uygulanması durumunda ampermetreden 10 A okunmaktadır. Bu verilere göre eşdeğer devre elemanlarını ve demir kayıplarını hesaplayınız.

ÇÖZÜM

Bu soruda primer devrenin direnci bir doğru akım kaynağı ön direnç bağlanarak ölçülmüştür. Boşta çalışma deneyinde primer sargı parametrelerinin ihmal edilmesinin sonuca etkisinin az olduğunu göreceğiz.

$$V_{dc} = I_{dc} \times r_{eş}$$

$$41 = (10) \times (r_1 + 2)$$

$$r_1 = 2,1 \Omega$$

$$S_n = \sqrt{3} \times V_{1fa} \times I_{1hn}$$

$$I_{1hn} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \times V_{1fa}} = \frac{630 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 15000} = 24,25 \text{ A}$$

$$I_{1hn} = I_{1n}$$

Boşta çalışma deneyi

Bağıl boşta çalışma akımı $i_0 = \% 1,16$

$$i_0 = \frac{I_0}{I_{1n}}$$

$$I_0 = I_{1n} \times i_0 = 24,25 \times \frac{1,16}{100} = 0,28 \text{ A}$$

Bu durumda boşta çalışma güç faktörü ise;

$$P_0 = \sqrt{3} \times V_{1fa} \times I_0 \times \cos \varphi_0 \Rightarrow \cos \varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3} \times V_{1fa} \times I_0} = \frac{1245}{\sqrt{3} \times 15000 \times 0,28}$$

$$\cos \varphi_0 = 0,17 \Rightarrow \varphi_0 = 80,15^\circ$$

Demir akımı;

$$I_{fe} = I_0 \times \cos \varphi_0 = 0,28 \times \cos 80,15^\circ = 0,0503 \text{ A}$$

Mıknatıslanma akımı ;

$$I_\mu = I_0 \times \sin \varphi_0 = 0,28 \times \sin 80,15^\circ = 0,275 \text{ A}$$

$$P_{fe} = P_0 - 3 \times I_0^2 \times r_1 = 1245 - (3 \times 0,28^2 \times 2,1) = 1244,5 \text{ W}$$

$$P_{fe} = 3 \times I_{fe}^2 \times R_{fe}$$

$$R_{fe} = \frac{P_{fe}}{3 \times I_{fe}^2} = \frac{1244,8}{3 \times 0,0503^2} = 164 \text{ k}\Omega$$

$$E_1 = I_{fe} \times R_{fe} = 0,0503 \times 164000 = 8250 \text{ V}$$

$$E_1 = I_\mu \times jX_m$$

$$X_m = \frac{E_1}{I_\mu} = \frac{8250}{0,275} = 30 \text{ k}\Omega$$

Mıknatıslanma reaktansını elde ettikten sonra primer şargının kaçak reaktansını elde edebiliriz.

$$Q_0 = Q_{1\sigma} + Q_m$$

$$Q_0 = P_0 \times \tan \varphi_0$$

$$Q_0 = 1245 \times \tan 80,15^\circ = 6811 \text{ Var}$$

$$Q_m = 3 \times I_\mu^2 \times X_m$$

$$Q_{1\sigma} = Q_0 - Q_m$$

$$Q_{1\sigma} = 6811 - (3 \times 0,275^2 \times 30000)$$

$$Q_{1\sigma} = 4,75 \text{ Var}$$

$$Q_{1\sigma} = 3 \times I_0^2 \times X_{1\sigma}$$

$$X_{1\sigma} = \frac{Q_{1\sigma}}{3 \times I_0^2} = \frac{4,75}{3 \times 0,28^2} = 21 \Omega$$

Kısa devre deneyi

$$V_{kfa} = 1200 \text{ V}$$

Kısa devre gücü ise;

$$P_{kn} = \sqrt{3} \times V_{kfa} \times I_{1h} \times \cos \varphi_k$$

Buradan kısa devre güç faktörü;

$$\cos \varphi_k = \frac{P_{kn}}{\sqrt{3} \times V_{kfa} \times I_{1h}} = \frac{8600}{\sqrt{3} \times 1200 \times 24,25} = 0,17$$

$$\varphi_k = 80^\circ$$

Kısa devre empedansı ise

$$Z_k = \frac{V_k}{I_n} = \frac{700/\sqrt{3}}{24,25} = 28,86 \Omega$$

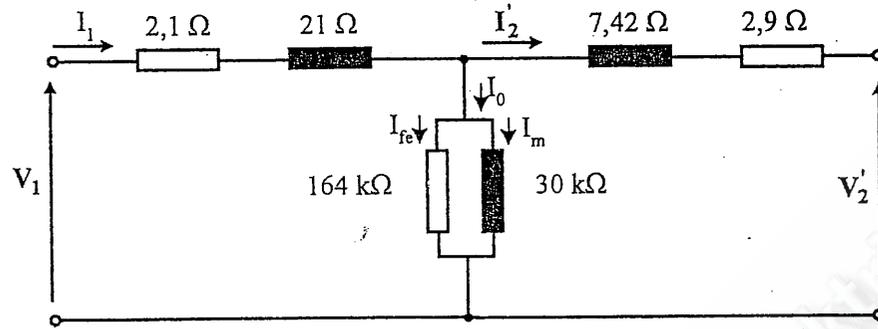
Kısa devre durumunda orta bacak ihmal edildiğinden

$$R_k = Z_k \times \cos \varphi_k = 28,86 \times \cos 80^\circ = 5 \Omega$$

$$R'_2 = R_k - R_1 = 8,36 - 2,1 = 2,9 \Omega$$

$$X_k = Z_k \times \sin \varphi_k = 28,86 \times \sin 80^\circ = 28,42 \Omega$$

$$X'_{2\sigma} = X_k - X_{1\sigma} = 28,42 - 21 = 7,42 \Omega$$



44) 1000 kVA 20/0,4 kV, $f=50$ Hz, Y_{y0} bağlamalı üç fazlı transformatörün boşa deneyinde

$$V_{10}=20 \text{ kV}, I_{10}=1 \text{ A}, P_0=3460 \text{ W}, V_{20}=400 \text{ V}$$

Anma akımındaki kısa devre deneyinde

$$V_{kn}=1200 \text{ V}, I_{1n}=I_{kn}=28,8 \text{ A}, P_{kn}=15,9 \text{ kW}$$

Değerleri ölçülmüştür.

- Demir açısını, demir akımını ve mıknatıslanma akımını hesaplayınız
- Eşdeğer devre parametrelerini hesaplayınız
- Bağlı boşa çalışma akımını ve bağlı kısa devre gerilimini hesaplayınız
- Transformatör yarı yükünde güç faktörü 0,8 endüktif yük durumunda çalışırken verimini hesaplayınız

ÇÖZÜM

a) Yıldız bağlı olan transformatörün boşa güç faktörü ve demir akımı ile mıknatıslanma akımını bulabilmek için boşa çalışmada çekilen aktif güç ifadesi kullanılır. İfade içersine deney sonucunda elde edilen değerlerin yerleştirilmesi ile

$$P_0 = \sqrt{3} \times V_{1fa} \times I_0 \times \cos \varphi_0 \Rightarrow \cos \varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3} \times V_{1fa} \times I_0} = \frac{3460}{\sqrt{3} \times 20000 \times 1}$$

$$\cos \varphi_0 = 0,09 \Rightarrow \varphi_0 = 84,26^\circ$$

Demir akımı;

$$I_{fe} = I_0 \times \cos \varphi_0 = 1 \times \cos 84,26^\circ = 0,09 \text{ A}$$

Mıknatıslanma akımı ;

$$I_\mu = I_0 \times \sin \varphi_0 = 1 \times \sin 84,26^\circ = 0,99 \text{ A}$$

b) Eşdeğer devre parametreleri

$$R_{fe} = \frac{V_{10}}{I_{fe}} = \frac{(20000/\sqrt{3})}{0,09} = 128 \text{ k}\Omega$$

$$X_m = \frac{V_{10}}{I_\mu} = \frac{20000/\sqrt{3}}{0,99} = 11,66 \text{ k}\Omega$$

Kısa devre deneyinden

$$V_{kfa} = 1200 \text{ V}$$

Kısa devre gücü ise;

$$P_{kn} = \sqrt{3} \times V_{1kfa} \times I_{1h} \times \cos \varphi_k$$

Kısa devre deneyinde verilen akım aynı zamanda transformatörün anma akımıdır.

Buradan kısa devre güç faktörü;

$$\cos \varphi_k = \frac{P_{kn}}{\sqrt{3} \times V_{1kfa} \times I_{1h}} = \frac{15900}{\sqrt{3} \times 1200 \times 28,8} = 0.265$$

$$\varphi_k = 74,59^\circ$$

Kısa devre empedansı ise

$$Z_k = \frac{V_k}{I_{fn}} = \frac{1200/\sqrt{3}}{24,25} = 28,86 \Omega$$

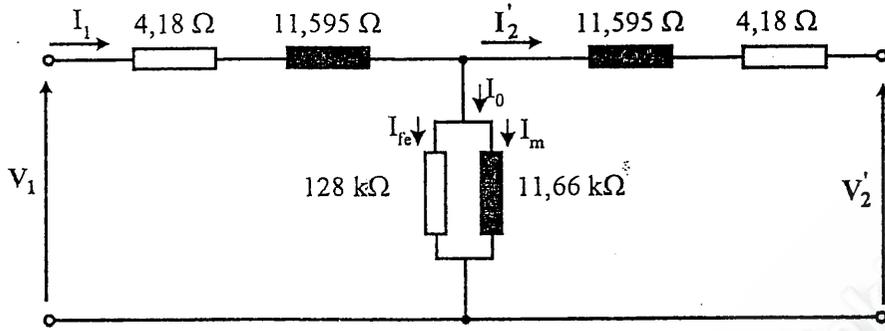
Kısa devre durumunda orta bacak ihmal edildiğinden

$$R_k = Z_k \times \cos \varphi_k = 28,86 \times \cos 73^\circ = 8,36 \Omega$$

$$X_k = Z_k \times \sin \varphi_k = 28,86 \times \sin 73^\circ = 23,19 \Omega$$

$$R_1 = R_2 = \frac{R_k}{2} = 4,18 \Omega$$

$$X_{1\sigma} = X_{2\sigma} = \frac{X_k}{2} = 11,595 \Omega$$



c) Bağlı boшта çalışma akımı

$$i_0 = \frac{I_0}{I_n} = \frac{1}{28,8} = \% 3,47$$

Bağlı kısa devre gerilimi

$$v_k = \frac{V_{1kfa}}{V_{1fa}} = \frac{1200}{20000} = \% 6$$

d) Yarı yükte $\cos \varphi = 0,8$ endüktif yüklü durumda verimi ise;

$$\eta = \frac{\alpha \times S_n \times \cos \varphi}{\alpha \times S_n \times \cos \varphi + P_0 + x^2 P_{kn}} = \frac{\frac{1}{2} \times 1000 \times 10^3 \times 0,8}{\frac{1}{2} \times 1000 \times 10^3 \times 0,8 + 3460 + \left(\frac{1}{2}\right)^2 \times 15900} =$$

$$\eta = \% 99,1$$

45) 60 kVA gücünde bağli kısa devre gerilimi % 4, 140 kVA gücünde bağli kısa devre gerilimi % 4,5 ve 150 kVA gücünde bağli kısa devre gerilimi % 5 olan 3 fazlı transformatörlerin gerilimleri 15/0,4 kV ve bağlama grupları Yy_0 'dır. Transformatörler 350 kVA'lık yükü beslemek üzere paralel bağlanıyorlar. Transformatörler bu yükü besleyebilirler mi ?

ÇÖZÜM

Bir transformatörün bağli kısa devre gerilimi ;

$$v_k = \frac{V_k}{V_n} = \frac{I_n \times Z_k}{V_n}$$

Denklemin pay ve paydasını $3 \times V_n$ ile çarparsak

$$v_k = \frac{3 \times V_n \times I_n \times Z_k}{3 \times V_n^2} = \frac{S_n \times Z_k}{3 \times V_n^2}$$

Buradan transformatörün kısa devre empedansı

$$Z_k = v_k \frac{3 \times V_n^2}{S_n}$$

Bu empedans değeri her bir transformatör için ayrı ayrı hesaplanır. Transformatörler paralel çalışacaklarından dolayı ortak eşdeğer kısa empedansı ise

$$\frac{1}{Z_{kt}} = \frac{1}{Z_{k1}} + \frac{1}{Z_{k2}} + \frac{1}{Z_{k3}}$$

$$\frac{S_t}{v_k \times 3 \times V_n^2} = \frac{S_1}{v_{k1} \times 3 \times V_n^2} + \frac{S_2}{v_{k2} \times 3 \times V_n^2} + \frac{S_3}{v_{k3} \times 3 \times V_n^2}$$

$$\frac{(60 + 140 + 150) \times 10^3}{v_k} = \frac{60 \times 10^3}{4} + \frac{140 \times 10^3}{4,5} + \frac{150 \times 10^3}{5}$$

$$v_k = \% 4,6$$

Her bir transformatörün paralel bağli çalışmada çekeceği güç ise

$$S_{1x} = S_1 \times \frac{v_k}{v_{k1}} = 60 \times \frac{4,6}{4} = 69 \text{ kVA}$$

$$S_{2x} = S_2 \times \frac{v_k}{v_{k2}} = 140 \times \frac{4,6}{4,5} = 143,1 \text{ kVA}$$

$$S_{3x} = S_3 \times \frac{v_k}{v_{k3}} = 150 \times \frac{4,6}{5} = 138 \text{ kVA}$$

Bu sonuçlardan görüleceği üzere 1 ve 2 no'lu transformatörler aşırı yüklü durumda çalışmaktadırlar. Bu çalışma koşullarında transformatörler bu yükü besleyemez. Besleyebilecekleri maksimum gücü hesaplamak için bağıl kısa devre gerilimi en küçük olan transformatörün bağıl kısa devre gerilimi eşdeğer bağıl kısa devre gerilimi olarak alınır.

$$S_{1x} = S_1 \times \frac{v_k}{v_{k1}} = 60 \times \frac{4}{4} = 60 \text{ kVA}$$

$$S_{2x} = S_2 \times \frac{v_k}{v_{k2}} = 140 \times \frac{4}{4,5} = 124,44 \text{ kVA}$$

$$S_{3x} = S_3 \times \frac{v_k}{v_{k3}} = 150 \times \frac{4}{5} = 120 \text{ kVA}$$

$$S_t = S_{1x} + S_{2x} + S_{3x} = 60 + 124,44 + 120 = 304,44 \text{ kVA}$$

46) Yy_0 bağılı 6300/400 V'luk güçleri $S_1=120$ kVA, $S_2=100$ kVA, $S_3=80$ kVA, bağıl kısa devre gerilimleri $v_{k1}=\%6$, $v_{k2}=\%4$, $v_{k3}=\%5$ olan üç transformatörün paralel çalışması durumunda besleyebilecekleri en fazla yük miktarını hesaplayınız.

ÇÖZÜM

Besleyebilecekleri en fazla yük miktarını hesaplamak için bağıl kısa devre gerilimi en küçük olan ortak eşdeğer bağıl kısa devre gerilimi kabul edilir.

Bu durumda

$$S_{1x} = S_1 \times \frac{v_k}{v_{k1}} = 120 \times \frac{4}{6} = 80 \text{ kVA}$$

$$S_{2x} = S_2 \times \frac{v_k}{v_{k2}} = 100 \times \frac{4}{4} = 100 \text{ kVA}$$

$$S_{3x} = S_3 \times \frac{v_k}{v_{k3}} = 80 \times \frac{4}{5} = 64 \text{ kVA}$$

$$S_t = S_{1x} + S_{2x} + S_{3x} = 80 + 100 + 64 = 244 \text{ kVA}$$

47) 1000 kVA gücü besleyen bir adet 1600 kVA Δy_5 transformatörün anam gerilimi 34,5/0,4 kV'tur. Bu transformatöre ilişkin boşa kayıplar 2350 W $i_0=\%0,85$ bağıl kısa devre gerilimi ise $\%6$ olarak verilmiştir.

Mevcut yükün 1000 kVA'dan 2100 kVA çıkarılması durumunda alçak gerilim tarafına konulması gereken ikinci trafo aşağıdakilerden hangisi olabilir. Bu durumda transformatörlerin üzerlerine alacağı yükleri hesaplayınız.

- I- $S=500$ kVA, 34,5/0,4 kV, $v_k=\%4,5$ $i_0=\%1$, Δy_0
- II- $S=1200$ kVA, 34,5/0,4 kV, $v_k=\%6$ $i_0=\%1$, Δy_0
- III- $S=1200$ kVA, 34,5/0,4 kV, $v_k=\%6$ $i_0=\%1$, Δy_5
- IV- $S=800$ kVA, 34,5/0,4 kV, $v_k=\%4,5$ $i_0=\%0,85$, Δy_5

ÇÖZÜM

Transformatörlerin paralel çalışma koşulları şu şekilde sıralanabilir

- 1- Dönüştürme oranları eşit olmalıdır
- 2- Bağıl kısa devre gerilimleri eşit veya bağıl kısa devre gerilimi düşük olan ile bağıl kısa devre gerilimi büyük olan arasında $\%90$ eşitlik olmalıdır.
- 3- Boşa çalışma akımlarının meydana getirdiği gerilim düşümü aynı fazda olmalıdır.

4- Bağlantı grupları aynı olmalıdır.

5- Güçleri birbirine eşit veya düşük güçlü olanın değeri büyük olanın % 70 'inden az olmamalıdır.

Bu durumda 3 no'lu transformatör en uygun olanıdır.

Yükün çektiği akım

$$I_y = \frac{S}{3 \times V_1} = \frac{2100}{3 \times 400} = 1750 \text{ A}$$

Bu yükleme durumunda transformatörlerin yüke verdiği akımları şu şekilde hesaplayabiliriz.

$$I_1 = \frac{\Delta V}{Z_{k1} + Z_{k2}} + \frac{Z_{k2}}{Z_{k1} + Z_{k2}} \times I_y \quad I_2 = \frac{-\Delta V}{Z_{k1} + Z_{k2}} + \frac{Z_{k1}}{Z_{k1} + Z_{k2}} \times I_y$$

Transformatörün gerçek kısa devre akımı ve gerekli değerleri için formülleri

$$Z_k = \frac{V_1}{I_k} \quad I_k = \frac{I_{n1}}{v_k} \quad I_{n1} = \frac{S_n}{3 \times V_1}$$

$$I_{n1} = \frac{1600 \times 10^3}{3 \times 400} = 1333 \text{ A} \quad I_{n2} = \frac{1200 \times 10^3}{3 \times 400} = 1000 \text{ A}$$

$$I_{k1} = \frac{I_{n1}}{v_{k1}} = \frac{1333}{0,06} = 22217 \text{ A} \quad I_{k2} = \frac{I_{n2}}{v_{k2}} = \frac{1000}{0,06} = 1667 \text{ A}$$

$$Z_{k1} = \frac{V_1}{I_{k1}} = \frac{400}{22217} = 0,018 \Omega \quad Z_{k2} = \frac{V_1}{I_{k2}} = \frac{400}{1667} = 0,24 \Omega$$

Transformatörler arasındaki sirkülasyon akımından meydana gelecek gerilim düşümü

$$\Delta V = I_{n1} \times Z_{k1} - I_{n2} \times Z_{k2} = 1333 \times 0,018 - 1000 \times 0,024 = -0,006 \text{ V} \approx 0 \text{ V}$$

Bu yüklenme durumunda birinci transformatörün üzerine alacağı yük miktarı

$$I_1 = \frac{Z_{k2}}{Z_{k1} + Z_{k2}} \times I_y = \frac{0,024}{0,024 + 0,018} \times 1750 = 1000 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{Z_{k1}}{Z_{k1} + Z_{k2}} \times I_y = \frac{0,018}{0,024 + 0,018} \times 1750 = 750 \text{ A}$$

Yüklenme oranları ise

$$\alpha_1 = \frac{1000}{1333} = 0,75 = \% 75$$

$$\alpha_2 = \frac{750}{1667} = 0,45 = \% 45$$

48) Aşağıda plaka değerleri verilen transformatörler 2200 kW 'lık $\cos\phi=0,85$ endüktif güç faktöründeki yükü beslemektedirler.

a) A ve B transformatörlerinin yük akımlarını ve yüklenme oranlarını hesaplayınız

b) A ve B transformatörlerinin bu yüklenme durumundaki verimlerini hesaplayınız

TRAFO A	TRAFO B
1600 kVA	1250 kVA
36/0,4 kV	36/0,4 kV
$P_{0a} = 2600 \text{ W}$	$P_{0b} = 1950 \text{ W}$
$P_{kna} = 14500 \text{ W}$	$P_{knb} = 14000 \text{ W}$
$v_{ka} = \%6$	$v_{kb} = \%6$
Dy _s	Dy _s

ÇÖZÜM

a) Yükün çektiği akım

$$P = \sqrt{3} \times V_{fa} \times I_y \times \cos\phi$$

$$I_y = \frac{P}{\sqrt{3} \times V_{fa} \times \cos\phi} = \frac{2200 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 400 \times 0,85} = 3735,79 \text{ A}$$

Transformatörlerin kısa devre gerilimleri ise

$$V_{ka} = v_{ka} \times V_n = 0,06 \times 36000 = 2160 \text{ V}$$

$$V_{kb} = v_{kb} \times V_n = 0,06 \times 36000 = 2160 \text{ V}$$

Kısa devre empedansı

$$Z_{ka} = \frac{V_{ka}}{I_{an}}$$

$$I_{fa} = \frac{S_a}{\sqrt{3} \times V} = \frac{1600 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 36 \times 10^3} = 25,66 \text{ A} \quad I_{An} = \frac{I_{fa}}{\sqrt{3}} = \frac{25,66}{\sqrt{3}} = 14,81 \text{ A}$$

$$I_{fb} = \frac{S_b}{\sqrt{3} \times V} = \frac{1250 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 36 \times 10^3} = 20,05 \text{ A} \quad I_{Bn} = \frac{I_{fb}}{\sqrt{3}} = \frac{20,05}{\sqrt{3}} = 11,57 \text{ A}$$

$$Z_{ka} = \frac{V_{ka}}{I_{An}} = \frac{2160}{14,81} = 145,85 \Omega \quad Z_{kb} = \frac{V_{kb}}{I_{Bn}} = \frac{2160}{11,57} = 186,69 \Omega$$

Bu yük durumunda çekilen akım

$$I_{Ax} = \frac{Z_{kb}}{Z_{ka} + Z_{kb}} \times I_y = \frac{186,69}{186,69 + 145,85} \times 3735,79 = 2097,29 \text{ A}$$

$$I_{Bx} = \frac{Z_{ka}}{Z_{ka} + Z_{kb}} \times I_y = \frac{186,69}{186,69 + 145,85} \times 3735,79 = 1638,5 \text{ A}$$

Yüklenme oranları için sekonder akımlarının hesaplanması gerekir.

$$I_{an2} = \frac{1600 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 400} = 2309,4 \text{ A} \quad I_{bn2} = \frac{1250 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 400} = 1804,2 \text{ A}$$

$$\alpha_A = \frac{I_{Ax}}{I_{an2}} = \frac{2097,29}{2309,4} = 0,908$$

$$\alpha_B = \frac{I_{Bx}}{I_{bn2}} = \frac{1638,5}{1804,2} = 0,908$$

$$b) \text{ Verim ifadesi ise } \eta = \frac{\alpha \times S_n \times \cos \varphi}{\alpha \times S_n \times \cos \varphi + P_0 + \alpha^2 P_{cu}}$$

$$\eta_A = \frac{\alpha_A \times S_{An} \times \cos \varphi}{\alpha_A \times S_{An} \times \cos \varphi + P_{0a} + \alpha^2 P_{cua}} = \frac{0,908 \times 1600 \times 0,85}{0,908 \times 1600 \times 0,85 + 2,6 + 0,908^2 \times 14,5}$$

$$\eta_A = 0,988$$

$$\eta_B = \frac{\alpha_B \times S_{Bn} \times \cos \varphi}{\alpha_B \times S_{Bn} \times \cos \varphi + P_{0b} + \alpha^2 P_{cub}} = \frac{0,908 \times 1250 \times 0,85}{0,908 \times 1250 \times 0,85 + 1,95 + 0,908^2 \times 14}$$

$$\eta_B = 0,987$$

49) Gerilimleri 13,2/0,4 kV ve görünür güçleri 500 kVA olan bir fazlı A ve B transformatörleri paralel olarak çalıştırılacaktır. Bu transformatörlerin sekonder tarafa indirgenmiş eşdeğer empedansları sırasıyla $Z_A = 0,347 + j0,94 \Omega$ $Z_B = 0,37 + j1,1 \Omega$

a) Transformatörlerin bağıl kısa devre gerilimlerini bulunuz

b) Bu transformatörlerin anma akımlarının üzerine çıkılmadan sekonder tarafa bağlanacak yükün en büyük değerini hesaplayınız

c) Transformatörler sabit gerilimde güç faktörü 0,7 endüktif güç faktöründe yükü beslemektedirler. Ancak şebeke gerilimi değişmektedir. Bu yük için transformatörlerin primer gerilimlerini hesaplayınız.

ÇÖZÜM

$$a) Z_A = 0,347 + j0,94 \Omega = 1,002 \angle 69,73^\circ$$

$$Z_B = 0,37 + j1,1 \Omega = 1,161 \angle 71,41^\circ$$

$$S_A = S_B = 500 \text{ kVA}$$

Bir fazlı sistemde güç ifadesinde

$$I_{1n} = \frac{S}{V_1} = \frac{500 \times 10^3}{13200} = 37,88 \text{ A} \quad I_{2n} = \frac{S}{V_2} = \frac{500 \times 10^3}{4200} = 119,11 \text{ A}$$

$$V_{ka} = 119,11 \times 1,002 = 119,34 \text{ V} \quad v_{ka} = \frac{119,34}{4200} = \% 2,84$$

$$V_{kb} = 119,11 \times 1,161 = 138,3 \text{ V} \quad v_{ka} = \frac{138,3}{4200} = \% 3,29$$

b) En fazla besleyebilecekleri yükü hesaplayabilmek için bağıl kısa devre gerilimi en küçük olan ortak eşdeğer empedans olarak hesaplanır. Her hangi bir yük durumu için transformatörlerin verdiği yük miktarları

$$S_{1x} = S_1 \times \frac{v_k}{v_{k1}} = 500 \times \frac{2,84}{2,84} = 500 \text{ kVA}$$

$$S_{2x} = S_2 \times \frac{V_k'}{V_{k2}} = 500 \times \frac{2,84}{3,29} = 431,6 \text{ kVA}$$

$$S_T = 500 + 431,6 = 931,6 \text{ kVA}$$

$$c) I_{2a} = \frac{S}{V_1} = \frac{500 \times 10^3}{4200} = 119,1 \text{ A} \quad I_{2b} = \frac{S}{V_1} = \frac{431,6 \times 10^3}{4200} = 102,8 \text{ A}$$

$\cos\phi$ 'ler yaklaşık eşit ise

$$V_{1A}' = 4200 \angle 0^\circ - 119,1(0,7 - j0,714) \times (0,347 + j0,94) = (4308 + j48,9) \text{ V}$$

$$V_{1A}' = 4309,1 \angle 0,65^\circ \text{ V}$$

$$V_{1B}' = 4200 \angle 0^\circ - 102,8(0,7 - j0,714) \times (0,37 + j1,1) = (4307 + j52) \text{ V}$$

$$V_{1B}' = 4307,7 \angle 0,69^\circ$$

$$V_{1A} = 4309,1 \times \frac{13200}{4200} = 13543 \text{ V}$$

$$V_{1B} = 4307,7 \times \frac{13200}{4200} = 13538 \text{ V}$$

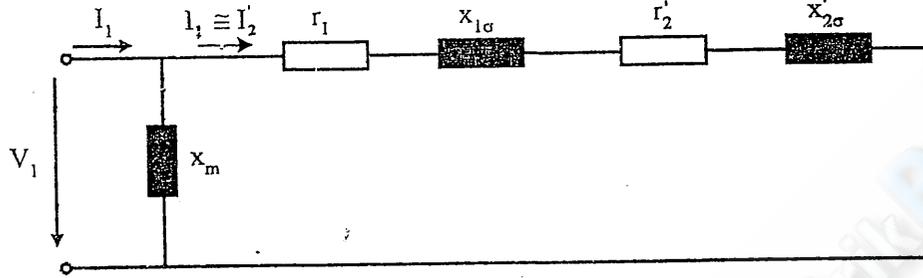
ASENKRON MAKİNE PROBLEMLERİ

.) Eşdeğer devre elemanları $r_1=0,36 \Omega$, $r_2'=0,4 \Omega$, $x_1=0,42 \Omega$, $x_2'=0,42 \Omega$, $x_m=15,8 \Omega$, $r_{fe} \approx \infty$, kayması %8, üç fazlı, dört kutuplu, 380V, 50Hz şebekede çalışan yıldız bağlı makine için;

- a) Yol alma akımının anma akımına oranını,
b) Yol alma momentinin anma momentine oranını hesaplayınız.

ÇÖZÜM

a) Eşdeğer devre aşağıda gösterilmektedir.



Motor sargıları yıldız bağlı olduğundan bir faz sargısına uygulanacak olan gerilim şebeke geriliminin $1/\sqrt{3}$ katı olmaktadır. $V_{fn} = 380/\sqrt{3} = 220V$
Dolayısıyla şebekeden çekilen akım değeri aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır;

$$I_n = \frac{V_{ff}}{\sqrt{(r_1 + r_2'/s)^2 + x_k^2}} \Rightarrow I_n = \frac{380/\sqrt{3}}{\sqrt{(0,36 + 0,4/0,08)^2 + 0,84^2}} = 40,55A$$

Yukarıdaki eşitlikte $x_k = x_1 + x_2'$ şeklindedir. Makinanın kalkışında $s_k = 1$ olduğundan yukarıdaki formülde s yerine 1 yazıldığında

$$I_k = \frac{V_{ff}}{\sqrt{(r_1 + r_2'/s)^2 + x_k^2}} \Rightarrow I_n = \frac{380/\sqrt{3}}{\sqrt{(0,36 + 0,4/1)^2 + 0,84^2}} = 194,21A$$

olarak bulunur. Buna göre $\frac{I_k}{I_n} = \frac{194,21}{40,55} = 4,79$ 'dur.

b) Buradan; M_n için $s_n = 0,08$, M_k için $s_k = 1$ alınacaktır. Buna göre

$$M_n = \frac{m \times p \times \left(\frac{V_{ff}}{\sqrt{3}}\right)^2 \times \frac{r_2'}{s_n}}{2 \times \pi \times f [(r_1 + r_2'/s_n)^2 + x_k^2]}$$

$$M_n = \frac{3 \times 2 \times \left(\frac{380}{\sqrt{3}}\right)^2 \times \frac{0,4}{0,08}}{2 \times \pi \times 50 [(0,36 + 0,4/0,08)^2 + 0,84^2]}$$

$$M_n = 157,02 Nm$$

$$M_k = \frac{m \times p \times \left(\frac{V_{ff}}{\sqrt{3}}\right)^2 \times \frac{r_2'}{s_k}}{2 \times \pi \times f [(r_1 + r_2'/s_k)^2 + x_k^2]}$$

$$M_k = \frac{3 \times 2 \times \left(\frac{380}{\sqrt{3}}\right)^2 \times \frac{0,4}{1}}{2 \times \pi \times 50 [(0,36 + 0,4/1)^2 + 0,84^2]}$$

$$M_k = 288,15 Nm$$

$$\frac{M_k}{M_n} = \frac{288,15}{157,02} = 1,83 \text{ olarak bulunur.}$$

.) Üç fazlı, yıldız bağlı, $V_{fn}=500V$ olan sekiz kutuplu bilezikli bir asenkron motorun eşdeğer devre parametreleri aşağıda verilmektedir;

$$r_1=0,25 \Omega, r_2'=0,18 \Omega, x_1=0,6 \Omega, x_2'=0,3 \Omega, x_m=25 \Omega$$

Bu motor 175 Nm yük momentine sahip olup, asansörle yüküdür. Bu durumda;

- a) Yaklaşık eşdeğer devreyi kullanarak çalışma hızını,
b) Motorun yükü hareket ettiremeyeceğini,
c) Sistemi ivmelendiren momenti bulunuz.

ÇÖZÜM

$$a) M = \frac{m \times p \times V^2 \times \frac{r_2}{s}}{2 \times \pi \times f \times [(r_1 + r_2 / s)^2 + x_k^2]}$$

$$175 = \frac{3 \times 4 \times \left(\frac{500}{\sqrt{3}}\right)^2 \times \frac{0,18}{s}}{2 \times \pi \times 50 \times [(0,25 + 0,18/s)^2 + 0,9^2]}$$

ifadesinde verilen değerler yerine yazıldığında ikinci dereceden s'e bağlı denklem elde edilmektedir.

$$s^2 - 11,68s + 0,037 = 0 \text{ denklemi çözüldüğünde;}$$

$$s_1 = 11,6768 \text{ olarak kökler bulunmaktadır.. Motor bölgesinde çalışma}$$

$$s_2 = 0,0032$$

durumuna uyan kayma değeri s_2 'dir.. Buradan;

$$n = n_s(1 - s) \text{ formülünde } n_s = \frac{60 \times f}{p} \text{ den } n_s = 750 \text{ min}^{-1} \text{ bulunarak}$$

$$n = 741 \text{ min}^{-1} \text{ bulunur.}$$

b) Kalkış momenti $s = 1$ olduğu durumdur. Yukarıdaki moment ifadesinde yerine yazıldığında $M_k = 575,9 \text{ Nm}$ olarak bulunur. Buna göre $M_k > M_y$ yani $575,9 > 175$ olduğundan motor yükü hareket ettirir.

c) Sistemi ivmelendiren moment

$$M_a = M_k - M_y = 575,9 - 175 = 400,9 \text{ Nm'dir.}$$

4. Eşdeğer devre parametreleri $r_1=0,2 \Omega$, $r_2=0,25 \Omega$, $x_1=0,35 \Omega$, $x_2=0,3 \Omega$ olan dört kutuplu bilezikli asenkron makine yıldız bağlıdır ve 380V-50Hz şebekeden beslenmektedir.

- Makinenin devrilme kaymasını, devrilme devir sayısını, devrilme momentini ve makineyi devrilme momenti ile kaldırmak için bileziklere bağlanması gereken direncin değerini,
- Bu direnç değeri ile makinenin $s=0,25$ kaymaya ulaşması halinde çektiği akımı, ürettiği momentini ve devir sayısını,
- Bileziklere bağlanan direncin 0,1 ohm azaltılması halinde $s=0,25$ kaymasında çalışan motorun çektiği akımın ve ürettiği momentin yeni değerlerini hesaplayınız. Grafik çizerek üzerinde işaretleyiniz.

ÇÖZÜM

$$a) s_d = \frac{r_2}{2 \times x_2}, s_d = \frac{0,25}{2 \times 0,3}, s_d = 0,4166$$

$$n_d = n_s(1 - s_d) = 1500(1 - 0,4166) = 875 \text{ min}^{-1}$$

$$M = \frac{m \times p \times V^2}{2 \times \pi \times f_1 \times 2 \times x_2} = \frac{3 \times 2 \times 220^2}{2 \times \pi \times 50 \times 2 \times 0,3} = 1540,62 \text{ Nm}$$

devrilme kaymasında kaldırmak için r_y direnci ilave edilir.

$$s_d = 1 \text{ alınır.}$$

$$2 \times x_2 = r_y + r_2 \Rightarrow r_y = 2 \times x_2 - r_2 = 2 \times 0,3 - 0,25 = 0,35 \Omega$$

$$b) V_m = 380 / \sqrt{3} = 220 \text{ V } s = 0,25 \text{ için}$$

$$I_n = \frac{V_m}{\sqrt{(r_1 + (r_2 + r_y) / s)^2 + (x_1 + x_2)^2}}$$

$$I_n = \frac{220}{\sqrt{(0,2 + (0,25 + 0,35) / 0,25)^2 + (0,3 + 0,35)^2}} = 82 \text{ A}$$

$$M = \frac{m \times p \times V_{fn}^2 \times \frac{(r_2' + r_y')}{s}}{2 \times \pi \times f \times [(r_1 + (r_2' + r_y')/s)^2 + (x_1 + x_2')^2]}$$

$$M = \frac{3 \times 2 \times V_{fn}^2 \times \frac{(0,25 + 0,35)}{0,25}}{2 \times \pi \times f \times [(0,2 + (0,25 + 0,35)/0,25)^2 + (0,35 + 0,3)^2]} = 308,9 \text{ Nm}$$

$$n = n_s(1 - s) \Rightarrow n = 1500(1 - 0,25) = 1125 \text{ min}^{-1}$$

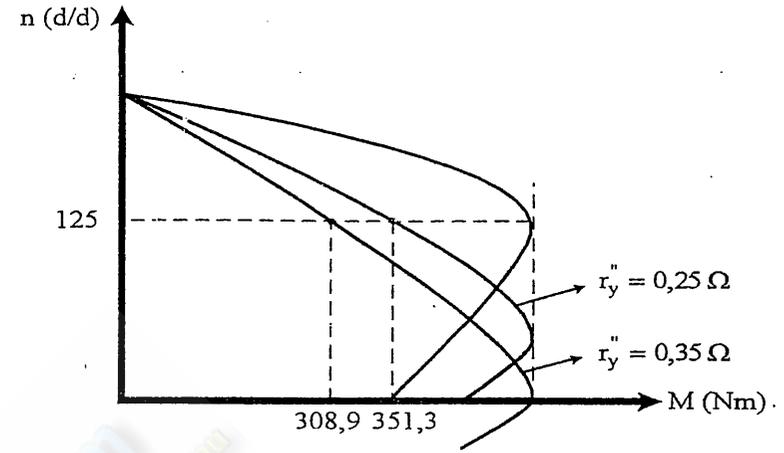
c) r_y' direnci $0,35 \Omega$ değerinden $0,1 \Omega$ azaltılarak $r_y'' = 0,25 \Omega$ yapıyor. Bu durumda

$$I_n = \frac{V_{fn}}{\sqrt{(r_1 + (r_2' + r_y')/s)^2 + (x_1 + x_2')^2}}$$

$$I_n = \frac{220}{\sqrt{(0,2 + (0,25 + 0,25)/0,25)^2 + (0,3 + 0,35)^2}} = 95,9 \text{ A}$$

$$M = \frac{m \times p \times V_{fn}^2 \times \frac{(r_2' + r_y'')}{s}}{2 \times \pi \times f \times [(r_1 + (r_2' + r_y'')/s)^2 + (x_1 + x_2')^2]}$$

$$M = \frac{3 \times 2 \times 220^2 \times \frac{(0,25 + 0,25)}{0,25}}{2 \times \pi \times 50 \times [(0,2 + (0,25 + 0,25)/0,25)^2 + (0,35 + 0,3)^2]} = 351,3 \text{ Nm}$$



Eşdeğer devre parametreleri $r_1=0,08 \Omega$, $r_2'=0,1 \Omega$, $x_1=0,12 \Omega$, $x_2'=0,13 \Omega$ $s_d=\%5,2$ olarak verilen iki kutuplu yıldız bağlı bir asenkron makine 380V-50Hz şebekeden beslenerek bir yükü tahrik etmektedir.

- Yükün 120 Nm olması halinde motorun kaymasını ve devir sayısını,
- Tahrik edilen yükün değerini değiştirmeden 1800 min^{-1} da döndürülmesi için uygulanacak gerilimi,
- Aynı yükü stator geriliminin ve frekansının değiştirilmesi ile yapmak için yeni stator gerilimini ve frekansının değerlerini hesaplayınız.

ÇÖZÜM

a)

$$M = \frac{m \times p \times V^2 \cdot \frac{r_2'}{s}}{2 \times \pi \times f \times [(r_1 + r_2'/s)^2 + x_k^2]} \Rightarrow 120 = \frac{3 \times 1 \times \left(\frac{380}{\sqrt{3}}\right)^2 \times \frac{0,1}{s}}{2 \times \pi \times 50 \times [(0,08 + 0,1/s)^2 + 0,25^2]}$$

eşitliğinden s 'e bağlı 2. dereceden denklem elde edilir.

$0,0688s^2 - 0,369s + 0,01 = 0$ denklemi çözüldüğünde elde edilen

kökler $s_1 = 0,0272$ olarak bulunmuştur.
 $s_2 = 5,3361$

Köklerden büyük olanın devrilme kaymasından büyük olmasından dolayı çözüm $s_1 = 0,0272$

$$n = \frac{60 \cdot f}{p} \cdot (1 - s) = \frac{60 \cdot 50}{1} \cdot (1 - 0,0272) = 2918,4 \text{ min}^{-1}$$

b) Momenti değiştirmeden devir sayısı 1800 min^{-1} düşerse

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{3000 - 1800}{3000} = 0,4$$

$$M = \frac{m \times p \times V^2 \times \frac{r_2'}{s}}{2 \times \pi \times f \times [(r_1 + r_2'/s)^2 + x_k'^2]}$$

$$120 = \frac{3 \times 1 \times (V)^2 \times \frac{0,1}{0,4}}{2 \times \pi \times 50 \times [(0,08 + 0,1/0,4)^2 + 0,25^2]}$$

$$V = 92,8 \text{ V}$$

c) Yükün 1800 min^{-1} de dönmesi için statora uygulanacak frekans s kayması değişmeden

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \Rightarrow 0,0272 = \frac{n_s' - 1800}{n_s'} \Rightarrow n_s' = 1850,33 \text{ min}^{-1}$$

Bu durumdaki frekans değeri ise;

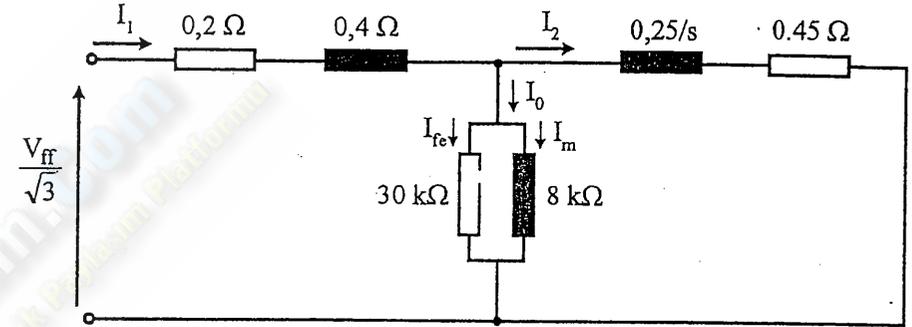
$$n = \frac{60 \times f}{p} \Rightarrow f' = \frac{n_s' \times p}{60} \Rightarrow f' = \frac{1850,33 \times 1}{60} = 30,84 \text{ Hz' dir.}$$

$$\frac{E}{f} \cong \frac{V}{f} = s \cdot b \Rightarrow \frac{220}{50} = 4,4 \quad V' = f' \times 4,4 \Rightarrow V' = 30,84 \times 4,4 = 135,7 \text{ V}$$

olarak bulunur.

5) Eşdeğer devre parametreleri $r_1=0,2 \Omega$, $r_2'=0,25 \Omega$, $x_1=0,4 \Omega$, $x_2'=0,45 \Omega$, $x_m=8000 \Omega$, $r_{fe}=30000 \Omega$ olan asenkron makine sargıları üçgen bağlıdır. $380\text{V}-50\text{Hz}$ şebekeden beslenmektedir. Makinenin %20 kaymaya kadar generatör çalıştırılabilmesi için faz başına bağlanması gereken kondansatörlerin kapasitelerini hesaplayınız.

ÇÖZÜM



= 0,02 kayma değerinde aşağıdaki denklem sistemleri yazılırsa;

$$\text{Denk(1)} \quad V = I_1(r_1 + jx_1) - s \cdot E'_{20} \Rightarrow 380 = I_1(0,2 + j0,4) - s \cdot E'_{20}$$

$$\text{Denk(2)} \quad -s \cdot E'_{20} = I_2'(r_2' + jx_1) - s \cdot E'_{20} \Rightarrow 380 = I_1(0,2 + j0,4) - s \cdot E'_{20}$$

$$\text{Denk(3)} \quad I_1 = I_0 + jI_2'$$

$$\text{Denk(4)} \quad -s \cdot E'_{20} = j8000I_m$$

$$\text{Denk(5)} \quad -s \cdot E'_{20} = 30000I_{fe}$$

Bu 5 denklem çözülürse;

$$I_m = -0,01573 - j0,00497 \Rightarrow I_m = 0,0165 \angle 162,44^\circ \text{ bulunur.}$$

$$I_m = \omega \times C \times V \text{ olmalı. Buradan } 0,0165 = 2 \times \pi \times 50 \times 380 \times C \Rightarrow$$

$$C = 0,1382 \mu\text{F' tir.}$$

Eşdeğer devre parametreleri aşağıda verilen asenkron makine plakasında 440V, üç faz, 50Hz, 750 min⁻¹ okunmuştur. Sargıları yıldız bağlıdır:

- Rotoru bloke edilmiş durumda faz sargularından 80A akması için statora uygulanması gereken gerilimi,
- Bu makinenin ideal boşta çalışma durumunda çektiği akımı, güç faktörünü ve hesaplayınız.

Eşdeğer devre parametreleri aşağıda verilmiştir.

$$r_1=r_2=0,1 \Omega, x_1=x_2=0,5 \Omega, x_m=20 \Omega, r_{fe}=100 \Omega$$

ÇÖZÜM

$$V = I[(r_1 + r_2) + j(x_1 + x_2)] = 80[(0,1 + 0,1) + j(0,5 + 0,5)] = 16 + j80V$$

$$V = 80,22 \angle 78,69^\circ V$$

$$V = I_0[r_1 + jx_1 + \frac{r_{fe} \times x_m j}{r_{fe} + jx_m}] \Rightarrow \frac{440}{\sqrt{3}} = I_0[0,1 + j0,5 + \frac{100 \times 20j}{100 + j20}]$$

$$I_0 = \frac{440/\sqrt{3}}{0,1 + j40,5} = 6,27 \angle -89,85^\circ \cos\phi = 0,0025$$

Primer ve primere indirgenmiş sekonder empedansları birbirine eşit ve 3+j9 ohm/faz olan üç fazlı, dört kutuplu 3300V gerilimli 50Hz frekanslı bir bilezikli asenkron makinenin gerilim değiştirme oranı $ü_g=3/1$ (stator/rotor)' dir. Statoru yıldız, rotoru üçgen bağlıdır.

- %5 kayma değeri için tam yük momentini,
- Makineye anma geriliminin uygulanması halinde üretebileceği maksimum momenti ve bu momentin üretildiği kaymayı,
- Motorun çektiği kalkış akımını ve güç faktörünü hesaplayın.

ÇÖZÜM

$$a) M = \frac{m \times p \times V^2 \times \frac{r_2}{s}}{2 \times \pi \times f \times [(r_1 + r_2/s)^2 + x_k^2]}$$

$$M = \frac{3 \times 2 \times (\frac{3300}{\sqrt{3}})^2 \times \frac{3}{0,05}}{2 \times \pi \times 50 \times [(3 + 3/0,05)^2 + (9 + 9)^2]} = 969 \text{ Nm}$$

$$b) M_d = \frac{m \times p \times V^2}{2 \times \pi \times f \times 2 \times \sqrt{r_1^2 + (x_1 + x_2)^2}}$$

$$M_d = \frac{3 \times 2 \times (\frac{3300}{\sqrt{3}})^2}{2 \times \pi \times 50 \times 2 \times \sqrt{3^2 + (9 + 9)^2}} = 1900 \text{ Nm}$$

c) Kalkış için $s=1$

$$I_k = \frac{V}{\sqrt{(r_1 + r_2)^2 + (x_1 + x_2)^2}} = \frac{\frac{3300}{\sqrt{3}}}{\sqrt{(3+3)^2 + (9+9)^2}} = 100,41 \text{ A}$$

$$\tan\phi_k = \frac{(x_1 + x_2)}{(r_1 + r_2)} = \frac{18}{6} = 3 \Rightarrow \phi_k = 71,56^\circ \Rightarrow \cos\phi_k = 0,316$$

Sıncap kafesli bir asenkron motorun anma kayması %2 olup, üçgen bağlı olarak 220/380V şebekeden beslenmektedir. Boşta çalıştırıldığında çektiği akım 7,39A ve güç 560W' tır. Yük altında demir kayıplarının boştaki demir kayıplarına göre %50 arttığı, ayrıca sürtünme ve ventilasyon kayıplarının 53W olduğu bilindiğine göre;

- Makinenin boşta ve yükte demir kayıplarını,

- b) Demir direncini, boşa güç katsayısını, mıknatıslanma reaktansını,
c) $s=0,02$ kaymasında makinenin şebekeden çektiği akımı ve verimi hesaplayınız.

Eşdeğer devre parametreleri aşağıda verilmiştir.

$$r_1=0,28 \Omega, r_2=0,3 \Omega, x_1=4 \Omega, x_2=3,39 \Omega$$

ÇÖZÜM

$$\begin{aligned} a) P_0 &= P_{cu0} + P_{fe0} + P_{st} \Rightarrow P_{cu0} = m \times I_0^2 \times r_1 = 3 \times (7,39)^2 \times 0,28 = 46W \\ &\Rightarrow P_{fe0} = P_0 - P_{cu0} - P_{st} = 560 - (53 + 46) = 461W \end{aligned}$$

Faz başına $\cong 154 W$

$$\text{Yükte demir kaybı } P_{fe} = 1,5 \cdot P_{fe0} = 1,5 \cdot 461 = 691,5 W$$

$$b) E = V - I_0 \times Z = 380 - 7,39 \times (0,28 + 4j) = 350,3W$$

$$r_{fe} = \frac{E^2}{P_{fe}} = \frac{350,3^2}{154} = 796,8 \Omega$$

$$I_{fe} = \frac{E}{r_{fe}} = \frac{350,3}{796,8} = 0,439 \text{ ve } I_m = \sqrt{I_0^2 - I_{fe}^2} = \sqrt{7,39^2 - 0,439^2} = 7,376 A$$

$$\text{tg}\psi = \frac{I_m}{I_{fe}} = \frac{0,439}{7,376} \Rightarrow \psi = 3,405^\circ \text{ ve } \text{Cos}\varphi_0 = 0,0594$$

$$x_m = \frac{E}{I_m} = \frac{350,3}{7,376} = 47,49 \Omega$$

c) Orta bacağı ihmal edersek

$$I_2' = \frac{V}{\sqrt{(r_1 + r_2'/s)^2 + x_k^2}} \Rightarrow I_2' = \frac{380}{\sqrt{(0,28 + 0,3/0,02)^2 + 7,39^2}} =$$

$$I_2' = 22,39 A$$

$$P_{cu1+2} = m \times I^2 \times (r_1 + r_2') = 3 \times 22,39^2 \times (0,28 + 0,3) = 872W \text{ ve}$$

$$P_{fe} = 691,5W$$

$$P_{st} = 53W$$

$$P_{endmil} = m \times I^2 \times \frac{(1-s)}{s} \times r_2' = 3 \times 22,39^2 \times \frac{(1-0,002)}{0,02} \times 0,3 = 22103 W$$

Endüklenen mil gücü, makinenin milinde endüklenen güç değeridir.

Mil gücü ise endüklenen mil gücünden sürtünme vantilasyon ve demir kayıpları çıkınca elde edilen güç değeridir.

$$P_g = P_{endmil} + P_{cu1+2} + P_{fe0} + P_{st} = 22103 + 872 + 691,5 + 53 = 23720W$$

$$P_{\varphi} = 22103 - 691,5 - 53$$

$$\eta = \frac{P_{\varphi}}{P_g} = \frac{21358}{23720} = \% 93,18$$

0. Eşdeğer devre elemanları aşağıdaki gibi verilen sincap kafesli motorun L tipi eşdeğer devresini kullanarak, yıldız/üçgen yol alması halinde ;

- 1) Yıldız ve üçgen bağlı durumlar için ayrı-ayrı, kalkış momentini ve kalkış akımını,
2) Anma yükünde, $s=0.05$ kaymasında, 6 kutuplu üçgen bağlı bu makinede, mil momentini, iç gücü ve randımanı hesaplayınız. Sürtünme ve vantilasyon kaybı 80W alınacaktır.

$$r_1=0,4 \Omega, r_2=0,5 \Omega, x_1=0,7 \Omega, x_2=0,75 \Omega$$

ÇÖZÜM

a) Yıldız bağlı iken; kalkış moment ve akım değerlerinde $s=1$ 'dir.

$$I_{k\lambda} = \frac{V}{\sqrt{(r_1 + r_2')^2 + (x_1 + x_2')^2}}$$

$$I_{k\lambda} = \frac{220}{\sqrt{(0,4+0,5)^2 + (0,7+0,75)^2}} = 128,9A$$

$$M_{k\lambda} = \frac{m \times p \times V^2 \times \frac{r_2}{s}}{2 \times \pi \times f \times [(r_1 + r_2/s)^2 + (x_1 + x_2)^2]}$$

$$M_{k\lambda} = \frac{3 \times 3 \times (220)^2 \times 0,5}{2 \times \pi \times 50 \times [(0,9)^2 + (1,45)^2]} = 237 \text{ Nm}$$

$$I_{k\Delta} = \frac{V}{\sqrt{(r_1 + r_2')^2 + (x_1 + x_2')^2}}$$

$$I_{k\Delta} = \frac{380}{\sqrt{(0,4+0,5)^2 + (0,7+0,75)^2}} = 222,7 \text{ A}$$

$$M_{k\Delta} = \frac{m \times p \times V^2 \times \frac{r_2}{s}}{2 \times \pi \times f \times [(r_1 + r_2'/s)^2 + (x_1 + x_2')^2]}$$

$$M_{k\Delta} = \frac{3 \times 3 \times (380)^2 \times 0,5}{2 \times \pi \times 50 \times [(0,9)^2 + (1,45)^2]} = 710 \text{ Nm}$$

$$b) M_n = \frac{m \times p \times V^2 \times \frac{r_2}{s}}{2 \times \pi \times f \times [(r_1 + r_2'/s)^2 + (x_1 + x_2')^2]}$$

$$M_n = \frac{3 \times 3 \times (380)^2 \times \frac{0,5}{0,05}}{2 \times \pi \times 50 \times [(0,4 + \frac{0,5}{0,05})^2 + (1,45)^2]} = 375 \text{ Nm}$$

$$n = \frac{60 \times f}{p} \times (1-s) = \frac{60 \times 50}{3} \times (1-0,05) = 950 \text{ d/dk}$$

$$P_{mn} = M_n \times \frac{2 \times \pi \times n}{60} = 375 \times 2 \times \pi \times \frac{950}{60} = 37323 \text{ W}$$

$$I_2' = \frac{V}{\sqrt{(r_1 + r_2'/s)^2 + x_k^2}} \Rightarrow I_2' = \frac{380}{\sqrt{(0,4+0,5/0,05)^2 + 1,45^2}} = 36,18A$$

$$P_{cu2} = m \times I_2'^2 \times r_2 = 3 \times 36,18^2 \times 0,5 = 1964 \text{ W}$$

$$P_i = P_{mn} + P_{cu2} + P_{st} = 37323 + 1964 + 80 = 39367 \text{ W}$$

$$P_{fe} = \left(\frac{V}{r_{fe}}\right)^2 \times r_{fe} \times m_1 = \left(\frac{380}{750}\right)^2 \times 750 \times 3 = 577 \text{ W}$$

$$P_{cu1} = m_1 \times I^2 \times r_1 = 3 \times 36,18^2 \times 0,4 = 1570 \text{ W}$$

$$P_g = P_{fe} + P_{cu1} + P_i = 1570 + 577 + 39367 = 41514 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{37323}{41514} = \% 89,9$$

/ıldız bağlı bir bilezikli asenkron motorun plakasında 7.5kW, 16A, 380V, 1430d/dk, Cosφ=0.82, 50Hz yazılıdır. Devrilme ve anma momentleri arasındaki oran $M_d/M_n=3.2$ 'dir. Boşta endüklenen gerilimi $E_{20}=180V$, sekonder anma akımı $I_{2n}=25A$ 'dir.

- Motorun M_d ve M_n momentlerini Nm olarak,
- Anma çalışmasında verimini, iki bilezik arasında endüklenen rotor gerilimini, rotor faz empedansını,
- Devrilme kayması ve hızını (min^{-1}) bulunuz.

ÇÖZÜM

$$a) M_n = \frac{P_{\phi}}{2 \times \pi \times \frac{n}{60}} = \frac{7500}{2 \times \pi \times \frac{1430}{60}} = 50 \text{ Nm}$$

$$M_d = 3,2 \times M_n = 3,2 \times 50 = 160 \text{ Nm}$$

$$b) \eta = \frac{P_c}{P_g} = \frac{7500}{8635} = \%86,85 \quad \%86,85$$

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{1500 - 1430}{1500} = 0,0467 \text{ ve } E_{2h} = s \times E_{20} = 0,0467 \cdot 180 = 8,4 \text{ V}$$

$$z_2 = \frac{E_2}{I_{2n}} = \frac{8,4/\sqrt{3}}{25} = 0,194 \Omega \quad 0,194 \Omega$$

$$c) \frac{M}{M_d} = \frac{2}{\frac{s}{s_d} + \frac{s_d}{s}} \Rightarrow \text{buradan; } \frac{0,0467}{s_d} = 3,2 \cdot \sqrt{(3,2)^2} \Rightarrow s_d = 0,292 \quad 0,292$$

$$n_d = n_s \times (1 - s_d) = 1500 \times (1 - 0,292) = 1062 \text{ d/dk } \quad 1062 \text{ min}^{-1}$$

Stator direnci faz başına $0,269 \Omega$ olan üç fazlı yıldız bağlı bilezikli asenkron motorun boşa çalışma deneyinde alınan veriler 2400V , 11746W , $18,38\text{A}$ 'dir. kısa devre deneyinde ise 500V , 56800W , 210A 'dir. Sürtünme ventilasyon kayıpları 100 W 'dir. Kaymanın $\%1$ olması haline göre eşdeğer devre elemanlarını hesaplayınız.

ÇÖZÜM

Boşa karakteristik noktalarından;

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3} \times V_1 \times I_0} = \frac{11746}{\sqrt{3} \times 2400 \times 18,38} = 0,1537 \Rightarrow \varphi_0 = 81^\circ$$

$$I_{fe} = I_0 \times \cos \varphi_0 = 18,38 \times \cos 81 = 2,82 \text{ A}$$

$$I_\mu = I_0 \times \sin \varphi_0 = 18,38 \times \sin 81 = 18,16 \text{ A}$$

Demir direnci üzerinde harcanan güç ise

$$P_{fe} = P_0 - (3 \times I_0 \times r_1) - P_{stv} = 11746 - (3 \times 18,38 \times 0,269) - 100 = 11631 \text{ W}$$

$$P_{fe} = 3 \times I_{fe}^2 \times r_{fe}$$

$$r_{fe} = \frac{P_{fe}}{3 \times I_{fe}^2} = \frac{11631}{3 \times 2,82^2} = 482,52 \Omega$$

$$Q_m = P_{fe} \times \tan \varphi_0 = 11631 \times \tan 81 = 74782 \text{ Var}$$

$$Q_m = 3 \times I_\mu^2 \times x_m$$

$$x_m = \frac{Q_m}{3 \times I_\mu^2} = \frac{74782}{3 \times 18,16^2} = 73,78 \Omega$$

Kısa devre deneyinden;

$$z_k = \frac{V}{I_n} = \frac{500/\sqrt{3}}{210} = 1,375 \Omega$$

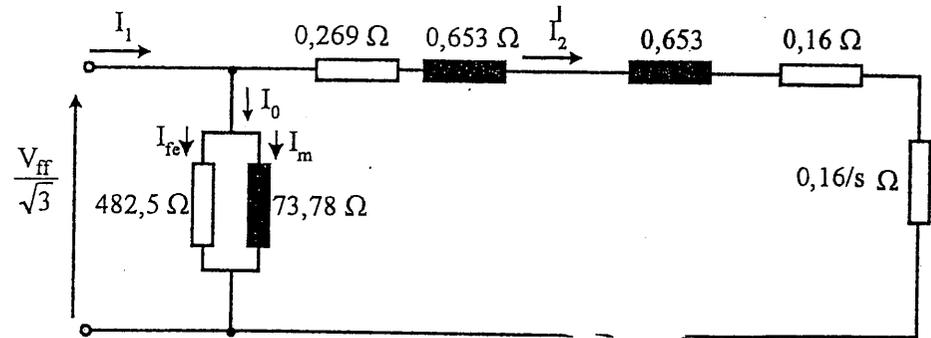
$$r_k = \frac{P_k}{3 \times I_n^2} = \frac{56800}{3 \times 210^2} = 0,429 \Omega$$

$$r_2 = r_k - r_1 = 0,429 - 0,269 = 0,16 \Omega$$

$$x_k = \sqrt{z_k^2 - r_k^2} = \sqrt{1,375^2 - 0,429^2} = 1,306 \Omega$$

$$x_1 \cong x_2 \cong \frac{1,302}{2} = 0,653 \Omega$$

$$s = 0,01 \text{ iken; } r_y = \frac{r_2 \times (1-s)}{s} = 0,16 \times \frac{(1-0,01)}{0,01} = 15,84 \Omega$$



12) Plaka değerleri 55kW, 380V, 104A, 2965d/dk, Cosφ=0.89 olan üç fazlı sincap kafesli motorun kalkış akımının anma akımına oranı $I_{y}/I_n = 6,3$ devrilme momentinin anma momentine oranı $M_d/M_n = 2,3$ kalkış momentinin anma momentine oranı $M_{yy}/M_n = 1,6$ olarak verilmiştir. Motorun uçlarına uygulanan gerilimin

- Anma değerinde olması haline göre yol verme akımını, yol verme momentini, devrilme momentini,
- Anma değerinin %90'ında olması haline göre yol verme akımını, yol verme momentini, devrilme momentini,
- Anma çalışmasında şebekeden çekilen aktif, reaktif, görünür güçler ile verimi bulunuz.

ÇÖZÜM

$$a) I_k = I_n \times 6,3 = 104 \times 6,3 = 655,2 \text{ A}$$

$$M_n = \frac{P}{2 \times \pi \times \frac{n}{60}} = \frac{55000}{2 \times \pi \times \frac{2965}{60}} = 177,1 \text{ Nm}$$

$$M_k = 1,6 \times M_n = 1,6 \times 177,1 = 283,4 \text{ Nm}$$

$$M_d = 2,3 \times M_n = 2,3 \times 177,1 = 407,3 \text{ Nm}$$

b) Gerilim $0,9 \times V_N$ ise;

$$\frac{I'_k}{I_k} = \frac{V'}{V} \quad I'_k = 0,9 \times I_k = 0,9 \times 655,2 = 589 \text{ A}$$

$$\frac{M'_k}{M_k} = \left(\frac{V'}{V}\right)^2 \quad M'_k = 0,81 \times M_k = 0,81 \times 283,4 = 229,5 \text{ Nm}$$

$$\frac{M'_d}{M_d} = \left(\frac{V'}{V}\right)^2 \quad M'_d = 0,81 \times M_d = 0,81 \times 407,3 = 329,9 \text{ Nm}$$

$$c) S = \sqrt{3} \times V \times I = \sqrt{3} \times 380 \times 104 = 68,45 \text{ kVA}$$

$$P = S \times \cos \varphi = 68,45 \times 0,89 = 60,92 \text{ W}$$

$$Q = S \times \sin \varphi = 68,45 \times 456 = 31,21 \text{ kVAR}$$

$$\eta = \frac{P_g}{P_\varphi} = \frac{55000}{60,92} = \% 90,28$$

Rotorunda faz başına direnci $0,1 \Omega$ ve faz akımı 20A olan bilezikli üç fazlı makinenin anma hızı 950 d/dk' dir. Statorda meydana gelen kayıplar(bakır ve demir) ve sürtünme kayıpları ihmal edilerek, rotor devresinde oluşan iç gücü, bakır kayıplarını, çıkış gücünü, devir sayısını ve mil momentini,

a) Anma kayması,

b) $s = - \%10'$ da,

c) $s = \%170$ değerleri için hesaplayınız. Güç dengelerinin izahını yaparak bu noktaları $M=f(s)$ eğrisinde işaretleyiniz.

ÇÖZÜM

$$a) P_{\text{cul}} = 3 \times I^2 \times r_2 = 3 \times 20^2 \times 0,1 = 120 \text{ W}$$

$s_n = 950 \text{ min}^{-1}$ Plakada yazılıdır.

$$M_n = \frac{P}{2 \times \pi \times \frac{n}{60}} = \frac{2280}{2 \times \pi \times \frac{950}{60}} = 22,92 \text{ Nm}$$

$$P_{\text{iç}} = 3 \times I^2 \times \frac{r_2}{s} = 3 \times 20^2 \times \frac{0,1}{0,05} = 2400 \text{ W}$$

$$P_\varphi = 3 \times I^2 \times \frac{(1-s)}{s} \times r_2 = 3 \times 20^2 \times \left(\frac{0,95}{0,05}\right) = 2280 \text{ W}$$

$$b) P_{\text{cul}} = 3 \times I^2 \times r_2 = 3 \times 20^2 \times 0,1 = 120 \text{ W}$$

$$n = (1-s) \times n_s = (1+0,1) \times 1000 = 1100 \text{ min}^{-1}$$

$$P_{\text{iç}} = 3 \times I^2 \times \frac{r_2}{s} = 3 \times 20^2 \times \frac{0,1}{-0,1} = -1200 \text{ W}$$

$$P_{\text{ç}} = 3 \times I^2 \times \frac{(1-s)}{s} \times r_2 = 3 \times 20^2 \times 0,1 \times \left(\frac{1+0,1}{-0,1}\right) = -1320 \text{ W}$$

$$M_n = \frac{P}{2 \times \pi \times \frac{n}{60}} = \frac{-1320}{2 \times \pi \times \frac{1100}{60}} = -11,46 \text{ Nm}$$

Şebekeye iade edilen güç 1200W, milden alın gücü 1320W, ve generatör çalışıyor.

$$c) P_{\text{cul}} = 3 \times I^2 \times r_2 = 3 \times 20^2 \times 0,1 = 120 \text{ W}$$

$$n = (1-s) \times n_s = (1-0,7) \times 1000 = 700 \text{ d/dk}$$

$$P_{\text{iç}} = 3 \times I^2 \times \frac{r_1}{s} = 3 \times 20^2 \times \frac{0,1}{1,7} = 70,6 \text{ W} \quad \text{Fren çalışıyor.}$$

$$P_{\text{ç}} = 3 \times I^2 \times \frac{(1-s)}{s} \times r_1 = 3 \times 20^2 \times 0,1 \times \left(\frac{1-1,7}{1,7}\right) = -49,4 \text{ W}$$

$$M_n = \frac{P}{2 \times \pi \times \frac{n}{60}} = \frac{-49,4}{2 \times \pi \times \frac{700}{60}} = -0,674 \text{ Nm}$$

Şebekeden çekilen güç 70,6W, fren gücü 49,4W, bu iki gücün toplamı iç dirençte harcanıyor.

14) Plakasında $\text{Cos}\phi=0.83$, 37kW, 380V, 2980d/dk olan üçgen bağlı sincap kafesli makinenin randımanı %85'dir. Randıman yük ile değişmediği kabul edilerek makineye uygulanan moment sabit tutularak, anma akımında, devir sayısının

%50 azaltılması için motora uygulanacak gerilimi ve şebekeden çekilecek gücü hesaplayın.

ÇÖZÜM

$$\eta = \frac{P_{\text{ç}}}{P_g} \Rightarrow P_g = \frac{P_{\text{ç}}}{\eta}$$

$$P_g = \sqrt{3} \times V \times I \times \text{cos}\phi$$

$$I = \frac{P_{\text{ç}}}{\sqrt{3} \times V \times \text{Cos}\phi \times \eta} = \frac{37000}{\sqrt{3} \times 380 \times 0,83 \times 0,85} = 79,7 \text{ A}$$

$$M_n = \frac{P}{2 \times \pi \times \frac{n}{60}} = \frac{37000}{2 \times \pi \times \frac{2980}{60}} = 118,6 \text{ Nm}$$

Devrin %50 azalması durumunda yeni devir sayısı

$$n' = n \times 0,5 = 2980 \times 0,5 = 1490 \text{ min}^{-1}$$

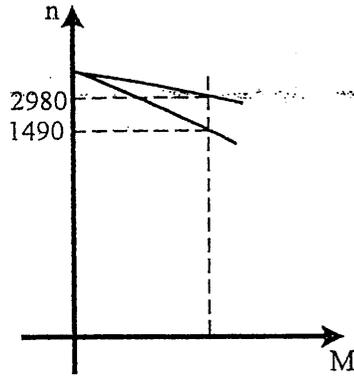
$$P_{\text{ç}} = M_d \times 2 \times \pi \times \frac{n}{60} = 118,6 \times 2 \times \pi \times \frac{1490}{60} = 18500 \text{ W}$$

r yük sabit olduğundan çekilen akım değişmez

$$\eta = \frac{P_{\text{ç}}}{P_g} \Rightarrow P_g = \frac{P_{\text{ç}}}{\eta}$$

$$P_g = \sqrt{3} \times V \times I \times \text{cos}\phi$$

$$V' = \frac{P_{\text{ç}}}{\sqrt{3} \times I \times \text{Cos}\phi \times \eta} = \frac{18500}{\sqrt{3} \times 79,7 \times 0,83 \times 0,85} = 189,95 \text{ V}$$



Verimi %85 olan bilezikli makinenin plaka değerleri 37kW, 380V, 1450 min¹, Cosφ=0,84' dür. Makinenin L tipi eşdeğer devresini kullanarak;

- Motor çalışma halinde anma momentini ve akımını,
- Stator direncini ihmal ederek, motoru anma akımının %80'i değerinde bir akım ile kaldırmak için bileziklere bağlanacak direncin statora indirgenmiş değerini ve kalkış momentini hesaplayınız.

ÇÖZÜM

$$a) \eta = \frac{P_g}{P_g} \Rightarrow P_g = \frac{P_g}{\eta}$$

$$P_g = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi$$

$$I = \frac{P_g}{\sqrt{3} \times V \times \cos \phi \times \eta} = \frac{37000}{\sqrt{3} \times 380 \times 0,84 \times 0,85} = 78,75 \text{ A}$$

$$M_n = \frac{P}{2 \times \pi \times \frac{n}{60}} = \frac{37000}{2 \times \pi \times \frac{1450}{60}} = 243,7 \text{ Nm}$$

$$b) I = \frac{V}{\sqrt{(r_2'/s)^2 + x_k^2}} \Rightarrow \frac{V^2}{I^2} = (r_2'/s)^2 + x_k^2$$

bu ifade moment denkleminde yazılırsa;

$$M = \frac{m \times p \times V^2 \times \frac{r_2'}{s}}{2 \times \pi \times f \times [(r_2'/s)^2 + x_k^2]} = \frac{m.p.V^2 \cdot \frac{r_2'}{s}}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot \frac{V^2}{I^2}}$$

$$243,7 = \frac{3 \cdot 2 \cdot (78,75)^2 \cdot \frac{r_2'}{0,033}}{100 \cdot \pi} \Rightarrow r_2' = 0,0678 \Omega$$

$$x^2 = Z^2 - \left(\frac{r_2'}{s} \right)^2$$

$$x^2 = \frac{V^2}{I^2} - \frac{r_2'}{s} = \frac{380^2}{78,75^2} - \frac{0,0678^2}{0,033^2} = 4,366 \Omega$$

$$I_k = \frac{V}{\sqrt{(r_y' + r_2')^2 + x_k^2}}$$

$$63 = \frac{380}{\sqrt{(r_y' + 0,0678)^2 + 4,366^2}} \Rightarrow r_y' = 4,1 \Omega$$

$$M_{dk} = \frac{m \times p \times V^2 \times (r_2' + r_y')}{2 \times \pi \times f \times [(r_2' + r_y')^2 + (x_k^2)]}$$

$$M_{dk} = \frac{3 \times 2 \times 380^2 \times (4,168)}{2 \times \pi \times 50 \times [(4,168)^2 + (4,366)^2]} = 315,5 \text{ Nm}$$

Yaklaşık eşdeğer devresi 50Hz için verilen üç fazlı, 380V üçgen bağlı, 4 kutuplu makinede, statora uygulanan frekansın değiştirilmesi yöntemi ile devir sayısı ayarı yapılmak isteniyor. Motor 380V, 50Hz'de %5 kayma ile çalışırken, makineden alınan güç değeri değişmeden, statora uygulanan frekans 30Hz'e indiriliyor. Eşdeğer devre parametrelerinde derin oluk etkisini ihmal ederek, yalnız reaktansların frekansla değişmesini dikkate alarak,

yaklaşık eşdeğer devreyi kullanarak, hava aralığı akısını değişmez varsayarak, yeni kaymayı ve dolayısıyla devir sayısını hesaplayınız. Eşdeğer devre parametreleri 50Hz için aşağıda verilmiştir.

$$z_1 = r_1 + jx_1 = 0.6 + j0.8$$

$$z_2 = r_2 + jx_2 = 0.8 + j0.8$$

$$z_m = jx_m = j500$$

ÇÖZÜM

$f = 50\text{Hz}$, $s = 0,05$ ve yaklaşık eşdeğer devre kullanılarak;

$$z_2' = \frac{r_2}{s} + jx_2' + r_1 + jx_1 = \frac{0,8}{0,05} + j0,8 + 0,6 + j0,8 = 16,6 + j1,6$$

$$I_2' = \frac{V}{z_2'} = \frac{380}{16,6 + j1,6} = 22,78\text{A} \text{ buradan motorun çıkış gücü;}$$

$$P_{\phi} = 3 \times I_2'^2 \times \frac{(1-s)}{s} \times r_2' = 3 \times 22,78^2 \times 0,8 \times \left(\frac{1-0,05}{0,05}\right) = 23675\text{W}$$

$$\frac{V_b}{V_a} = \frac{f_a}{f_b} \text{ yalnızca reaktansın frekansla değişmesi durumunda;}$$

$$z_1 = 0,6 + j0,8 \left(\frac{30}{50}\right) = 0,6 + j0,48$$

$$z_2 = 0,8 + j0,8 \left(\frac{30}{50}\right) = 0,8 + j0,48$$

$$z_m = j500 \left(\frac{30}{50}\right) = 300j$$

$$V_b = V_a \times \frac{f_b}{f_a} = 380 \times \frac{30}{50} = 228\text{V}$$

$$I_b = \frac{V_b}{\sqrt{(r_1 + r_2'/s)^2 + x_k^2}} = \frac{228}{\sqrt{(0,6 + 0,8/s)^2 + 0,96^2}} \Rightarrow \text{bu eşitlik çıkış gücü}$$

ifadesinde yerine yazılırsa s'e bağlı ikinci dereceden denklem sistemi elde edilir.

$$23675 = 3 \cdot \left(\frac{228}{\sqrt{(0,6 + 0,8/s)^2 + 0,96^2}} \right)^2 \times \frac{(1-s)}{s} \times 0,8$$

$$s^2 - 0,658s + 0,097 = 0$$

$$s_1 = 0,222$$

$$s_2 = 0,435) s_2 \text{ olmaz.}$$

$$n_s = 60 \cdot \frac{f}{p} = 60 \times \frac{30}{2} = 900 \text{ min}^{-1}$$

$$n = (1-s) \cdot n_s = (1-0,222) \cdot 900 = 700 \text{ min}^{-1}$$

Yukarıda yaklaşık eşdeğer devre parametreleri verilmiş olan üçgen bağlı, 50Hz, 380V şebekede %5 kayma ile çalışan bu makinenin devir sayısı ayarı için oto-trafo yöntemi kullanılacaktır. Motorun yüke verdiği momentin değeri değiştirilmeden motor 1200 min⁻¹ hıza indirilmek istenmektedir. Motora uygulanması gereken gerilim değerini, yaklaşık eşdeğer devreyi kullanarak hesaplayınız. Her iki çalışma konumunu da aynı grafikte gösteriniz.

$$z_1 = r_1 + jx_1 = 0.6 + j0.8$$

$$z_2 = r_2 + jx_2 = 0.8 + j0.8$$

$$z_m = jx_m = j500$$

ÇÖZÜM

$$I_2' = 22,78\text{A}, n = 1425\text{d/dk}, P_{\phi} = 23675\text{W}$$

$$M_n = \frac{P}{2 \times \pi \times \frac{n}{60}} = \frac{23675}{2 \times \pi \times \frac{1425}{60}} = 158,7\text{Nm}$$

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{1500 - 1430}{1500} = 0,0467$$

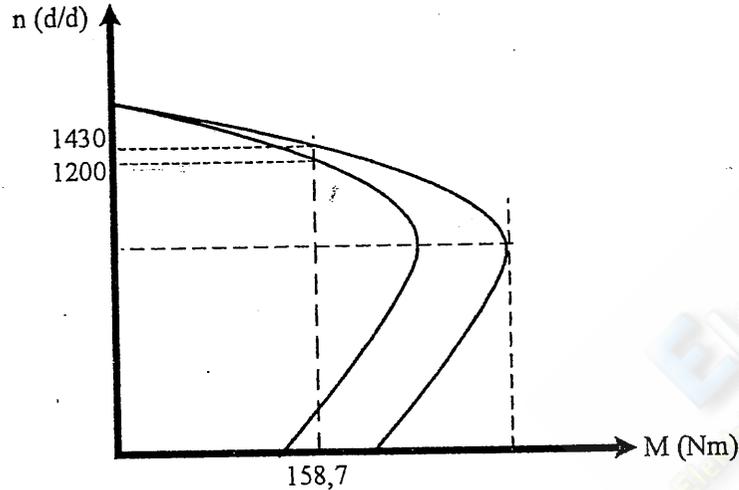
$$P_{\phi} = 2 \times \pi \times M \times \frac{n}{60} = 2 \times \pi \times 158,7 \times \frac{1200}{60} = 19936 \text{ W}$$

$$P_{\phi} = 3 \times I_2'^2 \times \frac{(1-s)}{s} \times r_2'$$

$$I_2' = \frac{19936}{3 \times 0,8 \times \left(\frac{1-0,2}{0,2}\right)} \Rightarrow I_2' = 45,6 \text{ A}$$

$$I_2' = \frac{V}{\sqrt{(r_1 + r_2'/s)^2 + x_k^2}}$$

$$V = 45,6 \sqrt{\left(0,6 + \frac{0,8}{0,2}\right)^2 + 1,6^2} = 222 \text{ V}$$



18) Üç fazlı bir asenkron motorun eşdeğer devre parametrelerini yaklaşık olarak saptamak için, makine rejim sıcaklığına eriştikten sonra şu deneyler yapılıyor ve veriler alınıyor.

- Yıldız bağlı makinenin stator sargılarındaki üç adet terminal ucundan ikisine 3 Volt doğru gerilim uygulanıp 10A ölçülüyor.
- Motor boşa çalıştırılırken faz arasına 400V uygulanıyor ve 1440W güç ve 3.1A çektiği gözleniyor.

c) Rotor sükunette iken yapılan kısa devre deneyinde, faz arası 110V uygulanıyor. 1260W güç ve 10.5A çekildiği gözleniyor.

Asenkron makinenin eşdeğer devre parametrelerinin yaklaşık değerlerini hesaplayınız. Daha sonra T eşdeğer devresini çizip bu değerleri yerlerine yazınız.

ÇÖZÜM

Motorun 3 adet terminal ucundan 2 terminal ucuna 3 volt uygulandığına göre

stator sargı direnci; $2r_1 = \frac{3}{10} \Rightarrow r_1 = 0,15 \Omega$

$$P_0 = 3 \times I_0^2 \times r_1 + 3 \times \frac{V^2}{r_{fe}}$$

$$3 \times \frac{V^2}{r_{fe}} = P_0 - 3 \times I_0^2 \times r_1 = 1440 - (3 \times 3,1^2 \times 0,15) \Rightarrow r_{fe} = 111 \Omega$$

$$I_{te} = \frac{V}{r_{fe}} = \frac{231}{336} = 0,686 \text{ A} \quad I_m = \sqrt{I_0^2 - I_{te}^2} = \sqrt{3,1^2 - 0,686^2} = 3,02 \text{ A}$$

$$x_m = \frac{V}{I_m} = \frac{231}{3,02} = 76,4 \Omega$$

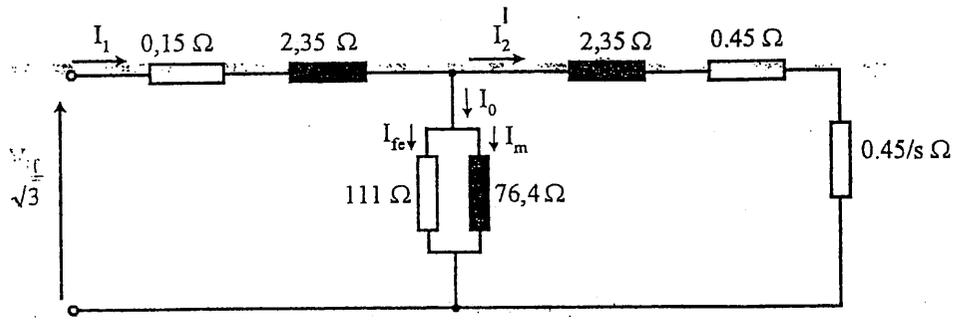
$$P_k = 3 \times I_k^2 \times (r_1 + r_2') \Rightarrow 1260 = 3 \times 10,5^2 \times (0,15 + R_2')$$

$$R_2' = 3,66 \Omega$$

$$V_k^2 = I_k^2 \times (r_1 + r_2') + I_k^2 (x_1 + x_2)$$

$$\Rightarrow (x_1 + x_2) = \frac{(110/\sqrt{3})^2 - 10,5^2 \times (0,15 + 3,66)}{10,5^2} = 4,69 \Omega$$

$$x_1 = x_2 = 2,35 \Omega$$



19) Üç fazlı, üçgen bağlı, 4 kutuplu, 50Hz ve 380V' luk bir kısa-devre asenkron motor, serbest ikazlı bir doğru akım makinesini tahrik etmektedir. Asenkron makinenin eşdeğer devre parametreleri şöyledir;

$$r_1=0,2 \Omega, r_2=0,3 \Omega, x_1=0,5 \Omega, x_2=0,5 \Omega, x_m=200 \Omega, r_{fe}=190 \Omega$$

Asenkron motor doğru akım generatörünü 1440d/dk' da döndürürken, generatörden beslenen yükün çektiği akım 100A ve yükün uçlarındaki gerilim ise 400V'dur. Asenkron makinenin sürtünme kayıplarını ihmal ediniz ve L eşdeğer devresini kullanarak, asenkron motorun

- Çıkış momentini,
- Demir kayıplarını,
- Primer ve sekonder bakır kayıplarını,
- Verimini hesaplayınız.

ÇÖZÜM

$$a) s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{1500 - 1440}{1500} = 0,04$$

$$M_{mil} = \frac{m \times p \times V^2 \times \frac{r_2}{s}}{2 \times \pi \times f \times [(r_1 + r_2/s)^2 + (x_1 + x_2)^2]}$$

$$M_{mil} = \frac{3 \times 2 \times (380)^2 \times \frac{0,3}{0,04}}{2 \times \pi \times 50 \times [(0,2 + \frac{0,3}{0,04})^2 + (0,5 + 0,5)^2]} = 343,07 \text{ Nm}$$

b) Demir kayıpları;

$$P_{fe} = \frac{V^2}{r_{fe}} = \frac{380^2}{190} = 760 \text{ W} = 760 \text{ W}$$

b) Primer ve sekonder bakır kayıpları;

$$I_1 = I_2 = \frac{V}{\sqrt{(r_1 + r_2/s)^2 + x_k^2}} = \frac{380}{\sqrt{(0,2 + 0,3/0,04)^2 + 1^2}} = 48,9 \text{ A}$$

$$z_m = \frac{r_{fe} \cdot x_m}{r_{fe} + x_m} = 99,84 - j94,87 = 137 \Omega$$

$$I_0 = \frac{V}{z_m} = \frac{380}{137} = 2,75 \text{ A}$$

$$P_{cul1} = m \times I_1^2 \times r_1 = 3 \times 48,9^2 \times 0,2 = 1600 \text{ W}$$

$$P_{cul2} = m \times I_2^2 \times r_2 = 3 \times 48,9^2 \times 0,3 = 2152 \text{ W}$$

$$d) \eta = \frac{P_g}{P_g}$$

$$P_g = P_g + P_{cul1+2}$$

$$P_g = M_d \cdot \omega = 343,07 \cdot 2\pi \cdot \frac{1460}{60} = 51,733 \text{ kW}$$

$$P_g = P_g = P_g + P_{cul1+2} = 51733 + 1600 + 2152 = 55482 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_g}{P_g} = \frac{51733}{55482} = \% 93,23$$

20) Plaka değerleri 7.5kW, 2940d/dk, 380V, Cosφ=0.85, 15.5A olan yıldız bağlı makinenin

- Anma çalışmasında giriş gücünü ve verimini
- Anma çalışmasında mil momentini,
- Şebeke geriliminin %5 azalması halinde, verim ve güç faktörünü değişmediği durumda r_1 , x_1 ve x_2 parametrelerini ihmal etme varsayımı ile, makinenin miline uygulanan fren momentinin sabit (değer değiştirmemesi) olması halinde, makinenin yeni devir sayısını,
- c şıkında belirtilen durum için motorun şebekeden çektiği akımı hesaplayınız.

ÇÖZÜM

$$P_g = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi = \sqrt{3} \times 380 \times 15,4 \times 0,85 = 8615 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_{\zeta}}{P_g} = \frac{7500}{8615} = \% 87$$

$$M_n = \frac{P_{\zeta}}{2 \times \pi \times \frac{n}{60}} = \frac{7500}{2 \times \pi \times \frac{2940}{60}} = 24,36 \text{ Nm}$$

$$V' = V - V \times 0,05 = 380 - 380 \cdot 0,05 = 361 \text{ V}$$

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{3000 - 2940}{3000} = 0,02$$

burada r_1 , x_1 , x_2 parametreleri ihmal edildiği durumda moment ifadesi;

$$M_d = \frac{V^2 \times \frac{r_2}{s}}{[(r_1 + r_2/s)^2 + (x_1 + x_2)^2]} \Rightarrow M_d = \frac{V^2 \times \frac{r_2}{s}}{(r_2/s)^2} = \frac{V^2 \times s}{r_2} \text{ Nm}$$

$$M_{d1} = M_{d2} \Rightarrow \frac{V_1^2 \times s_1}{r_2} = \frac{V_2^2 \times s_2}{r_2}$$

$$\frac{V_1^2}{V_2^2} = \frac{s_2}{s_1} = \frac{\left(\frac{380}{\sqrt{3}}\right)^2}{\left(\frac{380}{\sqrt{3}} \times 0,95\right)^2} = \frac{s_2}{0,02} \Rightarrow s_2 = 0,0221$$

$$n = n_s(1 - s) = 3000(1 - 0,0221) = 2933 \text{ min}^{-1}$$

$$d) I_1 = \frac{V_1}{\sqrt{(r_1 + r_2/s)^2 + x_k^2}} \Rightarrow I_1 = \frac{V_1}{\sqrt{(r_2/s)^2}} \Rightarrow I_1 = \frac{V_1 \cdot s_1}{r_2} \quad \text{ve} \quad I_1' = \frac{V_1' \cdot s_1}{r_2} \text{ bu}$$

iki ifade taraf tarafa oranladığında;

$$\frac{I_1}{I_1'} = \frac{V_1 \times s_1}{V_1' \times s_1} \Rightarrow I_1' = \frac{15,4 \times (380\sqrt{3}) \times 0,95 \times 0,0221}{(380/\sqrt{3}) \times 0,02} = 16,16 \text{ A}$$

tipi eşdeğer devre elemanları aşağıdaki gibi verilen üç fazlı kısa devre motorlu makinenin, rotorunda 17 çubuk, statorunda faz başına toplam 80 etken vardır. Stator sargısının sargı faktörü 0.90' dır. Makine üçgen bağlı ve 380V, 50Hz şebekede çalışmaktadır.

- Bu makinenin yaklaşık olarak stator ve rotor akımlarını,
- Bu makine generatör olarak çalıştırılarak motor olarak şebekeden çektiği gücün generatör olarak üretilmesi için, gereken kondansatör gücünü ve faz başına bağlanacak kapasite değerini mikroyarad olarak,
- Aynı makine motor çalışırken bir fazı koparsa yukarıda verilen devir sayısında dönerken makinenin rotor akımını bulunuz.

Makinenin eşdeğer devre parametreleri ve anma devir sayısı aşağıda verilmiştir.

$$r_1=0,2 \Omega, r_2=262 \times 10^{-6} \Omega, x_1=0,3 \Omega, x_2=328,10^{-6} \Omega, x_m=200 \Omega, r_{fe}=0 \Omega$$

$$n_n=950 \text{ min}^{-1}$$

ÇÖZÜM

$$a) \ddot{u} = \frac{m_1}{m_2} \left(\frac{N_1 \times k \times w_1}{N_2 \times k \times w_2} \right)^2 = \frac{3}{17} \times \left(\frac{80 \times 0,9}{0,5 \times 1} \right)^2 = 914,8$$

$$r_2' = r_2 \cdot \ddot{u} = 262 \cdot 10^{-6} \cdot 914,8 = 0,24 \Omega$$

$$x_2' = x_2 \cdot \ddot{u} = 328 \cdot 10^{-6} \cdot 914,8 = 0,3 \Omega$$

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{1000 - 950}{1000} = 0,05 \quad \text{Yaklaşık eşdeğer devreden;}$$

$$I_2' = \frac{V}{\sqrt{(r_1 + r_2'/s)^2 + x_k^2}} = \frac{380}{\sqrt{(0,2 + 0,24/0,05)^2 + 0,6^2}} = 75,45 \text{ A}$$

$$I_0 = \frac{V}{x_m} = \frac{380}{200} = 1,9 \text{ A}$$

$$I_1 = I_2' + I_0 = 75,45 + 1,9 = 77,35 \text{ A}$$

c) Makina generator çalışırken gereken reaktif enerjiyi kondansatörlerden karşılamaktadır.

$$z_e = (r_1 + r_2'/s) + j(x_1 + x_2) = (0,2 + 0,24/0,05) + j(0,3 + 0,3) = 5 + j0,6$$

$$I_2' = \frac{V}{\sqrt{(r_1 + r_2'/s)^2 + x_k^2}} = \frac{380}{\sqrt{(0,2 + 0,24/0,05)^2 + 0,6^2}} = 74,9 - j9 \text{ A} = 75,43 \text{ A}$$

$$I_0 = \frac{V}{jx_m} = \frac{380}{j200} = -1,9j$$

$$I_1 = I_2' + I_0 = 74,9 - 9j - 1,9 = 74,9 - j10,9 \text{ A}$$

$$\varphi = \text{tg}^{-1} \left(\frac{-10,9}{74,9} \right) = 8,28^\circ \quad \text{Cos} \varphi = 0,9895$$

$$\text{Sin} \varphi = 0,144$$

$$Q = \sqrt{3} \times I_1 \times V_1 \text{Sin} \varphi = \sqrt{3} \times 75 \times 380 \times 0,144 = 7108 \text{ VAR} \quad \text{Faz başına}$$

$$Q_{\text{FAZ}} = 7108/3 = 2370 \text{ VAR}$$

$$C = \frac{Q}{\omega \times V^2} = \frac{2370}{2 \times \pi \times 50 \times 380^2} = 52,2 \mu\text{F}$$

c) Makinanın bir fazı koparsa 2 fazdan 1 fazlı makina gibi beslenir.

$$r_1 = 2 \times r_1 \quad x_1 = 2 \times x_1 \quad \text{olur.}$$

$$I_2' = \frac{V}{\sqrt{(r_1 \times \sigma_1 + \frac{r_2'}{2-s} \times \frac{\sigma_1}{\sigma_2} + \frac{r_2'}{s} \times \sigma_1^2) + j(x_1 \times \sigma_1 + x_2 \times \frac{\sigma_1}{\sigma_2} + x_2 \times \sigma_1^2)}}$$

$$\sigma_2 = 1 + \frac{x_2}{x_m} = 1 + \frac{0,3}{200} = 1,0015$$

$$\sigma_1 = 1 + \frac{x_1 + \frac{x_2}{x_m}}{x_m} = 1 + \frac{0,6 + \frac{0,3}{200}}{200} = 1,003$$

$$I_2' = \frac{380}{\sqrt{(0,4 \cdot 1,0015 + \frac{0,24}{2-0,05} \cdot \frac{1,0015}{1,003} + \frac{0,24}{0,05} \cdot 1,0015^2) + j(0,6 \cdot 1,0015 + 0,3 \cdot \frac{1,0015}{1,003} + 0,3 \cdot 1,0015^2)}}$$

$$I_2' = 67,76 - j15,25 = 69,45 \text{ A}$$

7) Eşdeğer devre elemanları aşağıdaki gibi verilen asenkron makinenin frekansı 50Hz, devir sayısı 1470d/dk'dır. Makine üçgen bağlı olup, primer gerilimi 380V'dur. Makinenin bir fazına ilişkin eş değer devre parametreleri aşağıdaki gibidir.

$$r_1 = 0,3 \Omega, \quad r_2' = 0,33 \Omega, \quad x_1 = 0,8 \Omega, \quad x_2' = 0,85 \Omega, \quad x_m = 300 \Omega, \quad r_{fe} = 200 \Omega$$

Tam eşdeğer devreyi kullanarak

a) Devrilme kayması ve devrilme momentini,

b) Yol alma momentini,

c) Anma kaymasındaki momentini, (Nm olarak)

d) Bu makinenin çıkış gücünü kW olarak,

e) Makinenin anma kaymasındaki verimini hesaplayınız.

Sürtünme ve ventilasyon ile ilave kayıplar ihmal edilecektir.

ÇÖZÜM

$$a) s_d = \frac{r_2'}{\sqrt{r_1'^2 + (x_1 + x_2')^2}} = \frac{0,33}{\sqrt{0,3^2 + (0,8 + 0,85)^2}} = 0,1967$$

$$M_d = \frac{m \times p \times V^2 \times \frac{r_2'}{s_d}}{2 \times \pi \times f \times [(r_1' + r_2'/s_d)^2 + (x_1 + x_2')^2]}$$

$$M_d = \frac{3 \times 2 \times 380^2 \times \frac{0,33}{0,1967}}{100 \times \pi \times [(0,3 + 0,33/0,1967)^2 + (0,8 + 0,85)^2]} \quad M_d = 698 \text{ Nm}$$

b) Kalkış anında $s=1$ 'dir. Buna göre yol alma momenti

$$M_{dy} = \frac{m \times p \times V^2 \times \frac{r_2'}{s_k}}{2 \times \pi \times f \times [(r_1' + r_2'/s_k)^2 + (x_1 + x_2')^2]}$$

$$M_{dy} = 292 \text{ Nm}$$

$$c) s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{1500 - 1470}{1500} = 0,02$$

$$M_{dn} = \frac{m \times p \times V^2 \times \frac{r_2'}{s_n}}{2 \times \pi \times f \times [(r_1' + r_2'/s_n)^2 + (x_1 + x_2')^2]}$$

$$M_{dn} = \frac{3 \times 2 \times 380^2 \times \left(\frac{0,33}{0,02}\right)}{100 \times \pi \times [(0,3 + 0,33/0,02)^2 + (0,8 + 0,85)^2]}$$

$$M_{dn} = 159,68 \text{ Nm}$$

$$d) z_1 = \sqrt{0,3^2 + 0,8^2} = 0,85 \Omega \quad z_2' = \sqrt{(0,33/0,02)^2 + 0,85^2} = 1,65 \Omega$$

$$z_m = \frac{j r_{fe} \times x_m}{r_{fe} + j x_m} = \frac{j 200 \times 300}{200 + j 300} = 138 - j 92 = 166 \Omega$$

$$I_1 = \frac{V}{\frac{z_m \times z_2'}{z_m + z_2'} + z_1} = \frac{380}{\frac{166 \times 1,65}{166 + 1,65} + 0,85} = 23,9 \text{ A}$$

$$I_2' = \frac{V - I_1 \times z_1}{z_2'} = \frac{380 - 23,9 \times 0,85}{1,65} = 21,8 \text{ A}$$

$$P_g = m_1 \times I_2' \times r_2' \times (1-s)/s = 3 \times 21,8^2 \times 0,33 \times (1 - 0,02)/0,02 \approx 23 \text{ kW}$$

$$e) P_{cu1} = m_1 \times I_1^2 \times r_1 = 3 \times 23,9^2 \times 0,3 = 514 \text{ W}$$

$$P_{cu2} = m \times I_2'^2 \times r_2 = 3 \times 21,8^2 \times 0,33 = 470 \text{ W}$$

$$I_{fe} = \frac{V - I_1 \times z_1}{r_{fe}} = \frac{380 - 23,9 \times 0,85}{200} = 21,8 \text{ A}$$

$$P_{fe} = m_1 \times I_{fe}^2 \times r_{fe} = 3 \times 1,798^2 \times 200 = 1940 \text{ W}$$

$$I_e = \frac{V - I_1 \times z_1}{r_{fe}} = \frac{380 - 23,9 \times 0,85}{200} = 1,798 \text{ A}$$

$$P_k = P_{cu1} + P_{cu2} + P_{fe} = 514 + 470 + 1940 = 2924 \text{ W}$$

$$P_g = P_k + P_g = 2924 + 23050 = 25974 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_g}{P_g} = \frac{23050}{25975} = \%88,7$$

23) Üçgen bağlı bir asenkron motorun eşdeğer devre parametreleri şöyle verilmektedir;

$$r_1=0,4 \Omega, r_2'=0,5 \Omega, x_1=1,5 \Omega, x_2'=2 \Omega, x_m=250 \Omega, r_{fe}=400 \Omega$$

Makine 380V etkin değeri olan şebekede 1350d/dk ile dönmesi halinde

a) I_1, I_2 ve I_0 akınlarını, primer güç faktörünü,

b) Demir, primer ve sekonder bakır kayıplarını, çıkış gücünü,

c) Bu durumda makinenin giriş gücünü ve verimini hesaplayınız.

Sürtünme ve vantilasyon kaybını çıkış gücünün %0.25' i alınacaktır.

ÇÖZÜM

$$a) s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{1500 - 1350}{1500} = 0,15$$

$$z_m = \frac{r_{fe} \times jx_m}{r_{fe} + jx_m} = \frac{400 \times j250}{400 + j250} = 180 - j112 \text{ k}\Omega$$

$$z_T = \frac{(r_2/s + jx_2) \times (180 - j112)}{(r_2/s + jx_2) + (180 - j112)}$$

$$z_T = \frac{(0,5/0,15 + j2)(180 - j112)}{(0,5/0,15 + j2) + (180 - j112)} = 3,27 - j2,03 \Omega$$

$$I_1 = \frac{V}{(r_1 + jx_1) + z_p} = \frac{380}{(0,4 + j1,5) + (3,27 - j2,03)} = 102,4 \text{ A}$$

$$E = V - I_1 \times z_1 = 380 - (101,38 - j14,64) \times (0,4 + j1,5) = 317,5 - j146,2$$

$$I_{fe} = \frac{E}{r_{fe}} = \frac{317,5 - j146,2}{400} = 0,793 - j0,3655 = 0,873 \text{ A}$$

$$I_m = \frac{E}{jx_m} = \frac{317,5 - j146,2}{j250} = -0,5848 - j1,27 = 1,398 \text{ A}$$

$$I_0 = I_{fe} + jI_m = 0,793 - j0,3655 + (-0,5848 - j1,27) = 0,208 - j1,635 = 1,648 \text{ A}$$

$$I_0 = 0,208 - j1,635 = 1,648 \text{ A}$$

$$I_2 = I_1 - I_0 = 101,38 - j14,64 - (0,208 - j1,635) = 101,17 - j13 = 102 \text{ A}$$

$$\varphi_1 = \text{tg}^{-1} \frac{14,64}{101,38} = 8,21^\circ \quad \text{Cos}\varphi_1 = 0,9897$$

$$b) P_{fe} = m_1 \times I_{fe}^2 \times r_{fe} = 3 \times 0,873^2 \times 400 = 914 \text{ W}$$

$$P_{cu1} = m_1 \times I_1^2 \times r_1 = 3 \times 102,4^2 \times 0,4 = 12582 \text{ W}$$

$$P_{cu2} = m \times I_2^2 \times r_2 = 3 \times 102^2 \times 0,5 = 15606 \text{ W}$$

$$P_\varphi = 3 \times I_2^2 \times \frac{(1-s)}{s} \times r_2 = 3 \times 102^2 \times \frac{(1-0,15)}{0,15} \times 0,5 = 38434 \text{ W}$$

$$c) P_{st} + P_v = \%0,25 \times P_\varphi = 88434 \times 0,0025 = 221 \text{ W}$$

$$P_g = P_{fe} + P_{cu1} + P_{cu2} + P_{st+v} + P_\varphi$$

$$P_g = 914 + 12582 + 15606 + 221 + 88434 = 11775 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_\varphi}{P_g} = \frac{88434}{117757} = \% 75$$

Plakasında 22 kW, 380V, 47A, 725 d/dk., Cosφ=0.82 yazan 50Hz'lik üçgen bağlı bir kafesli asenkron motorun bu çalışma koşulları için verimi %87'dir.

Bu motorun kalkış akımının anma akımına oranı $I_{yv}/I_n = 5,8$, kalkış momentinin anma momentine oranı $M_k/M_n = 2$, devrilme momentinin anma momentine oranı $M_d/M_n = 2,6$ 'dır. Makinenin sürtünme kayıpları ihmal edilebilir. Bu makinenin anma değerlerinde çalışırken,

- Şebekeden çektiği aktif, reaktif ve görünür güçleri,
- Direkt yol verme işleminde yol verme akımını ve yol verme momentini,
- Devrilme momentini, devrilme kaymasını ve devrilme hızını hesaplayınız
- Makineye direkt yol verilmesi durumunda: Makinenin boşa akımını ihmal ederek, makinenin toplam empedansını ve rotor direncinin statora indirgenmiş değerini hesaplayınız.

ÇÖZÜM

$$a) \eta = \frac{P_\varphi}{P_g} \Rightarrow 0,87 = \frac{22 \cdot 10^3}{P_g} \Rightarrow P_g = 25287,35 \text{ W Aktif Güç}$$

$$\varphi = \cos^{-1}(0,87) = 34,9^\circ \quad \text{Sin}34,9^\circ = 0,57$$

$$Q = \sqrt{3} \times I_n \times V_{ff} \times \sin \phi = \sqrt{3} \times 380 \times 47 \times 0,57 = 17699 \text{ Var}$$

$$S = \sqrt{3} \times V_{ff} \times I_n = \sqrt{3} \times 380 \times 47 = 30934 \text{ VA}$$

$$b) \frac{I_k}{I_n} = 5,8 \Rightarrow I_k = 47,5,8 = 272,6 \text{ A}$$

$$M = \frac{P_\phi}{2 \times \pi \times n} = \frac{22000}{2 \times \pi \times \frac{725}{60}} = 289,78 \text{ Nm}$$

$$\frac{M_k}{M_n} = 2 \Rightarrow M_k = 289,78,2 = 579,56 \text{ Nm}$$

$$c) \frac{M_d}{M_n} = 2,6 \Rightarrow M_d = 289,78,2,6 = 753,428 \text{ Nm}$$

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{1000 - 725}{1000} = 0,275$$

$$\frac{M}{M_d} = \frac{2}{\frac{s}{s_d} + \frac{s_d}{s}} \Rightarrow \frac{289,78}{753,428} = \frac{2}{\frac{0,275}{s_d} + \frac{s_d}{0,275}} \Rightarrow s_d = 0,055$$

$$s_d = \frac{n_s - n_d}{n_s} \Rightarrow 0,055 = \frac{1000 - n_d}{1000} \Rightarrow n_d = 945 \text{ min}^{-1}$$

d) L tipi eşdeğer devre düşünülerek $I_1 \cong I_2$ kabulü yapılırsa;

$$z = \frac{V}{\frac{I}{\sqrt{3}}} = \frac{380}{\frac{47}{\sqrt{3}}} = 14 \Omega$$

$$P_\phi = m_1 \cdot I_2^2 \cdot \frac{r_2'(1-s)}{s} \Rightarrow 22 \cdot 10^3 = 3 \cdot r_2' \cdot \frac{(1-0,275)}{0,275} \cdot \frac{47}{\sqrt{3}}$$

$$r_2' = 3,78 \Omega$$

5) Eşdeğer devre parametreleri; $r_1=0,3 \Omega$, $r_2'=0,33 \Omega$, $x_{1\sigma}=0,8 \Omega$, $x_{2\sigma}'=0,85 \Omega$, $x_m=300 \Omega$, $r_{fe}=200 \Omega$ olan 50Hz, 1470 d/dk'lık 380V'luk üçgen bağlı bilezikli asenkron makinenin devrilme kaymasını ve anma momentini belirleyiniz. Anma momentinde makinenin hızının yarıya indirilmesi için bileziklere bağlanması gereken direncin statora indirgenmiş değerini hesaplayınız. (L tipi eşdeğer devre kullanılabilir ve $P_{st\sigma}$ sıfır alınız).

ÇÖZÜM

$$s_d = \frac{r_2'}{\sqrt{r_1'^2 + (x_1 + x_2')^2}} = \frac{0,33}{\sqrt{0,33^2 + (0,8 + 0,85)^2}} = 0,196$$

$$s_n = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{1500 - 1470}{1500} = 0,02$$

$$M = \frac{m \times p \times V^2 \times \frac{r_2'}{s}}{2 \times \pi \times f \times [(r_1 + r_2'/s)^2 + (x_1 + x_2')^2]}$$

$$M = \frac{3 \times 2 \times 380^2 \times \frac{0,33}{0,02}}{100 \times \pi \times [(0,3 + 0,33/0,02)^2 + (0,8 + 0,85)^2]}$$

$$M = 3,193 \text{ Nm}$$

Devir sayısı yarıya düşürüldüğünde aynı moment değerinde rotor sargısına ilave edilmesi gereken direnç değeri ise;

$$M = \frac{m \times p \times V^2 \times \frac{r_2'}{s}}{2 \times \pi \times f \times [(r_1 + r_2'/s)^2 + (x_1 + x_2')^2]}$$

$$3,193 = \frac{3 \times 2 \times 380^2 \times \frac{(0,33 + r_{ek}')}{0,51}}{100 \times \pi \times [(0,3 + (0,33 + r_{ek}')/0,51)^2 + (0,8 + 0,85)^2]}$$

$$r_{ek}' = 20,5 \Omega$$

26) Motor plaka değerleri aşağıdaki gibi verilen bir asenkron motorun devrilme kaymasını, devrilme devir sayısını, devrilme momentini, kalkış momentini ve kalkış akımını yaklaşık olarak hesaplayınız.

Plaka değerleri; 110Kw, 380V, $n_r=2970 \text{ min}^{-1}$, $\text{Cos}\phi=0.92$, $\eta(\text{verim})=0.920$, üçgen bağlı. Üçgen bağlı iken $I_k/I_n=7.00$, $M_k/M_n=2$, $M_d/M_n=2.80$ 'dir.

ÇÖZÜM

$$\eta = \frac{P_f}{P_g} \Rightarrow 0,92 = \frac{110000}{P_g} \Rightarrow P_g = 119565,21 \text{ W}$$

$$P_g = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \text{Cos}\phi \Rightarrow 119565,21 = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot I_n \cdot 0,92 \Rightarrow I_n = 197,45 \text{ A}$$

$$\frac{I_k}{I_n} = 7 \Rightarrow I_k = 7 \cdot I_n = 7 \cdot 197,45 = 1382,15 \text{ A}$$

$$\text{Mil momenti } M = \frac{P_f}{2 \cdot \pi \cdot n} = \frac{110000}{2 \cdot \pi \cdot \frac{2970}{60}} = 353,68 \text{ Nm}$$

$$\frac{M_d}{M_n} = 2,8 \Rightarrow M_d = 2,8 \times M_n = 2,8 \times 353,68 = 990,304 \text{ Nm}$$

$$\frac{M_k}{M_n} = 2 \Rightarrow M_k = 2 \times M_n = 2 \times 353,68 = 707,36 \text{ Nm}$$

$$s_n = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{3000 - 2970}{3000} = 0,01$$

$$\frac{M}{M_d} = \frac{2}{\frac{s}{s_d} + \frac{s_d}{s}} \Rightarrow \frac{1}{2,8} = \frac{2}{\frac{0,01}{s_d} + \frac{s_d}{0,01}} \Rightarrow s_d = 0,0577$$

$$s_d = \frac{n_s - n_d}{n_s} \Rightarrow 0,0577 = \frac{3000 - n_d}{3000} \Rightarrow n_d = 2826,9 \text{ min}^{-1}$$

27) 250kW, 50Hz, 3000V, 6 yıldız bağlı, kutuplu, $\text{Cos}\phi=0.89$, üç fazlı anma kayması %2 olan kısa devre kafesli bir asenkron motorda bir faza ilişkin T eşdeğer devre parametreleri; $r_1=0,7 \Omega$, $r_2=0,6 \Omega$, $x_{1\sigma}=2,3 \Omega$, $x_{2\sigma}=2,4 \Omega$, $X_m=90 \Omega$ 'dur. Motorun yol alma akımını, anma çalışmasındaki mil momentini ve rotor frekansını hesaplayınız.

ÇÖZÜM

Makinanın kalkış anında kayması $s=1$ 'dir. Dolayısıyla akım bulunurken s yerine kalkış anındaki kayma değeri yazılırsa kalkış akımı;

$$I_{ya} = \frac{V}{\sqrt{(r_1 + r_2/s)^2 + (x_1 + x_2)^2}} = \frac{3000/\sqrt{3}}{\sqrt{(0,7 + 0,6/1)^2 + (2,3 + 2,4)^2}}$$

$$I_{ya} = 323,14 \text{ A}$$

$$M = \frac{m \times p \times V^2 \times \frac{R_2'}{s}}{2 \times \pi \times f \times [(R_1 + R_2'/s)^2 + (X_1 + X_2')^2]}$$

$$M = \frac{3 \times 3 \times (3000/\sqrt{3})^2 \times \frac{0,6}{0,02}}{100 \times \pi \times [(0,7 + 0,6/0,02)^2 + (0,8 + 0,85)^2]}$$

$$M = 27278 \text{ Nm}$$

$$n_s = \frac{60 \times f}{p} = \frac{60 \times 50}{3} = 1000 \text{ min}^{-1}$$

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} \Rightarrow 0,02 = \frac{1000 - n_r}{1000} \Rightarrow n_r = 980 \text{ min}^{-1}$$

Rotor frekansı kaymaya bağlı değişmektedir. Bu durumda rotor frekansı;

$$f_2 = f_s \cdot s = 50 \times 0,02 = 1 \text{ Hz}$$

78) 12kW'lık 440V'luk dört kutuplu, 50Hz'lik, $\cos\phi=0.8$, üç fazlı kafesli bir asenkron motor anma gücünde %4'lük bir kayma ile çalışmaktadır. Sürtünme ve vantilasyon kayıplarının toplamı 750W'tır. Motorun döner alan gücünü, endüklenen momenti (iç momenti), rotor bakır kayıplarını, mil momentini bulunuz.

ÇÖZÜM

$$P_{iç} = P_{\phi} + P_{cu2} + P_{st}$$

$$n = \frac{60 \cdot f}{p} \cdot (1-s) = \frac{60 \cdot 50}{2} \cdot (1-0,04) = 1440 \text{ min}^{-1}$$

$$P_{iç} = m_1 \cdot I_2'^2 \cdot \frac{r_2'}{s} = \frac{P_{cu2}}{s}$$

$$P_{\phi} + P_{cu2} + P_{st} = \frac{P_{cu2}}{s} \Rightarrow 12000 + P_{cu2} + 750 = \frac{P_{cu2}}{0,04} \Rightarrow P_{cu2} = 531,25 \text{ W}$$

$$P_{iç} = \frac{P_{cu2}}{s} = \frac{531,25}{0,04} = 13281,25 \text{ W}$$

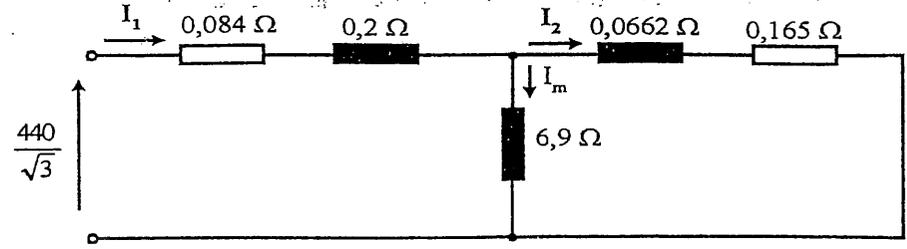
$$\text{Mil momenti } M = \frac{P_{\phi}}{2 \cdot \pi \cdot n} = \frac{12000}{2 \cdot \pi \cdot \frac{1440}{60}} = 79,57 \text{ Nm}$$

$$\text{Endüklenen moment } M_i = \frac{P_i}{2 \cdot \pi \cdot n_s} = \frac{13281,25}{2 \cdot \pi \cdot \frac{1500}{60}} = 84,54 \text{ Nm}$$

79) 440, 50Hz, yıldız bağlı, altı kutuplu, üç fazlı sincap kafesli bir asenkron motorda eşdeğer devre parametreleri:

$r_1=0.084 \Omega$, $r_2'=0.066 \Omega$, $x_1=0.2 \Omega$, $x_2'=0.165 \Omega$, $x_m=6.9 \Omega$ 'dur. Sürtünme ve vantilasyon kayıplarının toplamı 200W'dır. Motor %3.5 bir kayma ile çalıştığında, stator bakır kayıplarını, döner alan gücünü, endüklenen momenti (iç momenti), mekanik momenti ve verimini bulunuz.

ÇÖZÜM



$$\frac{r_2'}{s} = \frac{0,066}{0,035} = 1,89 \Omega$$

$$z_{ab} = \frac{jx_m \times \left(\frac{r_2'}{s} + jx_2' \right)}{\left[\left(\frac{r_2'}{s} + j(x_2' + x_m) \right) \right]} = \frac{j6,9 \times (1,89 + j0,165)}{[(1,89 + j(0,165 + 6,9))]} = 1,68 + j0,61 \Omega$$

$$z_1 = r_1 + jx_1 = 0,084 + j0,2$$

$$z_{giriş} = z_1 + z_{ab} = (0,084 + j0,2) + (1,68 + j0,61) = 1,76 + j0,81$$

$$I_1 = \frac{U_{fn}}{z_{giriş}} = \frac{440/\sqrt{3}}{1,76 + j0,81} = 119,37 - j54,94 = 131,41 \angle -24,7^\circ \text{ A}$$

$$-E_1 = -E_1 + I_1(r_1 + jx_1) \Rightarrow -E_1 = U_1 - I_1(r_1 + jx_1)$$

$$E_1 = (440/\sqrt{3}) - (119,37 - j54,94)(0,084 + j0,2) = 233,32 - j19,26 \text{ V}$$

$$I_m = \frac{-E_1}{jx_m} = \frac{233,32 - j19,26}{j6,9} = -2,79 - j33,81 \text{ A}$$

$$I_2 = I_m - I_1 = -2,79 - j33,81 - 119,37 + j54,94 = -122,16 + j21,13 = 123,97 \text{ A}$$

$$P_{st} = 3 \times I_1^2 \times r_1 = 3 \times (131,41)^2 \times 0,084 = 4,351 \text{ kW}$$

$$P_{di} = 3 \times I_2'^2 \times \frac{r_2'}{s} = 3 \times (123,97)^2 \times 1,89 = 87145,31 \text{ W}$$

$$n_s = \frac{60 \times f}{p} = \frac{60 \times 50}{3} = 1000 \text{ min}^{-1} \text{ buradan iç moment;}$$

$$M_{di} = \frac{P_d}{2 \cdot \pi \cdot n_s} = \frac{87145,31}{2 \cdot \pi \times \frac{1000}{60}} = 832,6 \text{ Nm}$$

$$P_{mil} = (1-s) \times P_{di} = (1-0,035) \times 87145,31 = 84095,22 \text{ W}$$

$$\text{Mekanik güç ise; } P_{mek} = P_{mil} - P_{st+v} = 83895,22 - 200 = 83895,22 \text{ W}$$

$$n_r = (1-s) \cdot n_s = (1-0,035) \cdot 1000 = 965 \text{ min}^{-1}$$

$$\text{Mekanik moment } \Rightarrow M_d = \frac{P_{mek}}{\omega_r} = \frac{P_{mek}}{2 \cdot \pi \cdot \frac{n_r}{60}} = \frac{83895,22}{2 \cdot \pi \cdot \frac{965}{60}} = 830,6 \text{ Nm}$$

Motorun giriş gücü;

$$P_{elek} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi = \sqrt{3} \cdot 440 \cdot 131,41 \cdot \cos 24,7 = 90877,43 \text{ W}$$

$$\text{Motorun verimi } \Rightarrow \eta = \frac{P_{mek}}{P_g} = \frac{83895,22}{90877,43} = \% 92$$

İç fazlı bir asenkron motorda şu anma değerleri veriliyor: 120kW, 5kV, 17,2A, $\cos\varphi=0,86$, 1490 d/dk, 50Hz. Anma işletmesinde motorun çektiği görünür, aktif ve reaktif gücü, toplam kayıp gücünü, mil döndürme momentini ve kaymayı hesaplayınız.

ÇÖZÜM

Motorun aktif, reaktif ve görünür güçleri verilen parametreler kullanılarak şu şekilde hesaplanır;

$$\varphi = \arccos^{-1} 0,86 = 30,68^\circ$$

$$P = \sqrt{3} \cdot I_n \cdot V_{ff} \cdot \cos\varphi = \sqrt{3} \cdot 5 \cdot 10^3 \cdot 17,2 \cdot 0,86 = 128 \text{ kW}$$

$$Q = \sqrt{3} \cdot I_n \cdot V_{ff} \cdot \sin\varphi = \sqrt{3} \cdot 5 \cdot 10^3 \cdot 17,2 \cdot 0,51 = 75967,75 \text{ VAR}$$

$$S = \sqrt{3} \cdot V_{ff} \cdot I_n = \sqrt{3} \cdot 5 \cdot 10^3 \cdot 17,2 = 148780 \text{ VA}$$

$$\Sigma P_k = P_g - P_\varphi = 128 - 120 = 8 \text{ kW}$$

$$M_n = \frac{P_\varphi}{2 \cdot \pi \times \frac{n}{60}} = \frac{120000}{2 \cdot \pi \times \frac{1490}{60}} = 769,23 \text{ Nm}$$

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{1500 - 1490}{1500} = 0,0066$$

31) 22kW, 380V, 1457 d/dk, $\cos\varphi=0,848$, $\eta=\%89$, $I_{yv}/I_N=6$, $M_{yv}/M_N=3$, $M_d/M_N=2,96$ olan yıldız bağlı, 50Hz'lik üç fazlı kısa devre kafesli asenkron motor, anma gücünde çalışırken aktif, reaktif, görünür güçlerini, yol verme akımını, yol verme momentini, anma kaymasını ve devrilme kaymasını bulunuz.

ÇÖZÜM

$$\eta = \frac{P_\varphi}{P_g} \Rightarrow 0,89 = \frac{22000}{P_g} \Rightarrow P_g = 24719,1 \text{ W}$$

$$P_g = \sqrt{3} \times I_n \times V_{ff} \times \cos\varphi \Rightarrow 24719,1 = \sqrt{3} \times 380 \times I_n \times 0,848 \Rightarrow I_n = 44,28 \text{ A}$$

$$I_k = I_n \times 6,6 = 6 \times 44,28 = 265,7 \text{ A}$$

$$M_n = \frac{P_\varphi}{2 \cdot \pi \times \frac{n}{60}} = \frac{22000}{2 \cdot \pi \times \frac{1457}{60}} = 144,19 \text{ Nm}$$

$$\frac{M_k}{M_n} = 3 \Rightarrow M_k = 3 \times M_n = 3 \times 144,19 = 432,57 \text{ Nm}$$

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{1500 - 1457}{1500} = 0,02866$$

$$\frac{M_d}{M_n} = 2,96$$

$$M_d = 2,96.M_n = 2,96.144,19 = 426,8 \text{ Nm}$$

$$\frac{M}{M_d} = \frac{2}{\frac{s}{s_d} + \frac{s_d}{s}} \Rightarrow \frac{1}{2,96} = \frac{2}{\frac{0,02866}{s_d} + \frac{s_d}{0,02866}}$$

$$s_d = 0,1646$$

32) Katalog değerleri 18.5kW, 380V, üçgen bağlı 970 d/dk, $\text{Cos}\varphi=0.858$, verimi 0.89, $I_y/I_n=7,7$, $M_k/M_n=2,28$, $M_d/M_n=3$ ve 50Hz olan kafesli asenkron motorun

- Anma işletmesinde aktif, reaktif ve görünür gücünü,
- Yol alma akımını ve momentini,
- Anma kaymasını ve devrilme kaymasını,
- Yıldız bağlı durumda kalkış akımını ve momentini hesaplayınız.

ÇÖZÜM

$$a) \text{ Aktif güç; } \eta = \frac{P_g}{P_g} \Rightarrow 0,89 = \frac{18500}{P_g}$$

$$P_g = 20786,52 \text{ W}$$

$$\varphi = \arccos^{-1} 0,858 = 30,9^\circ$$

$$S = \frac{P_g}{\text{Cos}\varphi} = \frac{20786,52}{0,858} = 24226,71 \text{ VA}$$

$$Q = S \times \sin \varphi = 24226,71 \times \sin 30,9 = 12428,3 \text{ kVA}$$

$$b) P_g = \sqrt{3} \times I_n \times V_{ff} \times \cos \varphi \Rightarrow 20786,52 = \sqrt{3} \times 380 \times I_n \times 0,858$$

$$I_n = 36,8 \text{ A}$$

$$I_k = I_n \cdot 7,7 = 7,7 \times 36,8 = 283,36 \text{ A}$$

$$M_n = \frac{P_g}{2.\pi.\frac{n}{60}} = \frac{18500}{2.\pi.\frac{970}{60}} = 182,126 \text{ Nm}$$

$$\frac{M_k}{M_n} = 2,28 \Rightarrow M_k = 2,28.M_n = 2,28 \times 182,126 = 415,24 \text{ Nm}$$

$$\frac{M_d}{M_n} = 3 \Rightarrow M_d = 3.M_n = 3 \times 182,126 = 546,378 \text{ Nm}$$

$$c) s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{1000 - 970}{1000} = 0,03$$

$$\frac{M}{M_d} = \frac{2}{\frac{s}{s_d} + \frac{s_d}{s}} \Rightarrow \frac{1}{3} = \frac{2}{\frac{0,03}{s_d} + \frac{s_d}{0,03}} \Rightarrow s_d = 0,17485 \text{ ve}$$

$$s_d = 0,00514$$

d) Y bağlı durumda kalkış akımı $\frac{I_A}{\sqrt{3}} = I_\lambda$ olmaktadır. Bu durumda yıldız bağlı

$$\text{iken çekilen akım } I_Y = \frac{283,36}{\sqrt{3}} = 163,6 \text{ A}$$

$$M_\Delta = 415,247 \text{ Nm} \text{ ve yıldız bağlı durumda moment}$$

$$M_\lambda = \frac{M_\Delta}{3} = \frac{138,415}{3} = 138,415 \text{ Nm}$$

33) Rotoru yıldız bağlı olan üç fazlı bilezikli bir asenkron motorun şu anma değerleri veriliyor;

15kW, 380V, 31A, $\text{Cos}\varphi=0.83$, 1445 min^{-1} , 50Hz, rotor anma gerilimi 250V, anma akımı 37A'dir. Anma çalışmasında; verimi, döndürme momentini, rotorda endüklenen gerilimi ve bu gerilimin frekansını hesaplayınız. Temel güçleri bulunuz.

ÇÖZÜM

$$P_g = \sqrt{3} \cdot I_n \cdot V_{ff} \cdot \cos\varphi = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 31 \cdot 0,83 = 16934,95 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_g}{P_g} = \frac{15000}{16934,95} = \%88,5$$

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{1500 - 1445}{1500} = 0,0366$$

Rotorda endüklenen gerilim; $E'_{20} = s \cdot E_{20} = 0,0366 \cdot 250 = 9,15 \text{ V}$

Bu gerilimin frekansı ise; $f_2 = s \cdot f_1 = 0,0366 \cdot 50 = 1,83 \text{ Hz}$

Döndürme momenti

$$M_n = \frac{P_g}{2 \times \pi \times \frac{n}{60}} = \frac{15000}{2 \times \pi \times \frac{1445}{60}} = 99,12 \text{ Nm}$$

Yukarıda hesaplanan P_g gücü aynı zamanda şebekeden çekilen aktif güçtür.

Reaktif ve görünür güç değerleri ise;

$$\varphi = \arccos^{-1} 0,83 = 33,9^\circ$$

$$Q = \sqrt{3} \times I_n \times V_{ff} \times \sin\varphi = \sqrt{3} \times 380 \times 31 \times \sin 33,9^\circ = 11379,98 \text{ VAR}$$

$$S = \sqrt{3} \times V_{ff} \times I_n = \sqrt{3} \times 380 \times 31 = 20403,56 \text{ VA}$$

- 34) Plaka değerleri 30 HP, 725 d/dk, 380V, üçgen bağlı, 50Hz $M_{yv}/M_n = 2.1$; $M_d/M_n = 2.6$; verimi %90, $\cos\varphi = 0.81$; $I_{yv}/I_n = 5.5$ olan asenkron makinede yol verme işleminde çekilen akımı ve momenti, devrilme momentini, devrilme kaymasını, anma çalışmasında şebekeden çekilen aktif, reaktif ve görünür güçleri, yol alma esnasında şebekeden çekilen görünür gücü hesaplayınız.

ÇÖZÜM

$$\eta = \frac{P_g}{P_g} \Rightarrow 0,9 = \frac{30.746}{P_g}$$

$$P_g = 24866,66 \text{ W}$$

$$P_g = \sqrt{3} \cdot V_{fa} \cdot I_h \cdot \cos\varphi$$

$$I_h = \frac{24866,66}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,81} = 46,64 \text{ A}$$

Motor üçgen bağlıdır ve şebekeden çektiği nominal akım değeri $I_n = 46,64 \text{ A}$ 'dir.

$$I_{yv} = I_n \cdot 5,5 = 46,64 \cdot 5,5 = 256,52 \text{ A}$$

$$M_n = \frac{P_g}{2 \cdot \pi \cdot \frac{n}{60}} = \frac{30.746}{2 \cdot \pi \cdot \frac{725}{60}} = 294,78 \text{ Nm}$$

$$M_{yv} = M_n \times 2,6 = 294,78 \times 2,6 = 766,43 \text{ Nm}$$

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{1000 - 725}{1000} = 0,275$$

$$\frac{M}{M_d} = \frac{2}{\frac{s}{s_d} + \frac{s_d}{s}} \Rightarrow \frac{1}{2,6} = \frac{2}{\frac{0,275}{s_d} + \frac{s_d}{0,275}}$$

$$s_d = 1,375$$

$$\varphi = \cos^{-1}(0,81) = 35,9^\circ \quad \begin{array}{l} \cos\varphi = 0,81 \\ \sin\varphi = 0,586 \end{array}$$

$$P_g = P_n = 24866,66 \text{ W}$$

$$Q = \sqrt{3} \cdot I_n \cdot V_{ff} \cdot \sin\varphi = \sqrt{3} \cdot 46,64 \cdot 380 \cdot 0,586 = 17988,725 \text{ VAR}$$

$$S = \sqrt{3} \cdot V_{ff} \cdot I_n = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 46,64 = 30697,48 \text{ VA}$$

Yol alma esnasındaki şebekeden çekilen görünür güç ise;

$$S = \sqrt{3} \cdot V_{ff} \cdot I_{yv} = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 256,52 = 168836,15 \text{ VA}$$

35) Eşdeğer devre parametreleri aşağıdaki gibi verilen bilezikli asenkron makine

380V/50Hz şebekede çalışacaktır. $r_1=0,36 \Omega$, $r_2=0,4 \Omega$, $x_1=0,62 \Omega$,

$x_2=0,58 \Omega$, $x_m=300 \Omega$, $r_{fe}=200 \Omega$, $p=2$, $n=1470$ d/dk' dir.

- a) Anma kaymasında; momenti, çıkış gücünü ve çekilen akımı,
b) Devrilme noktasında kayma ve momenti, kalkış noktasında akım ve momenti hesaplayınız.

ÇÖZÜM

$$a) s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{1500 - 1470}{1500} = 0,02$$

$$M_d = \frac{m \times p \times V^2 \times \frac{r_2'}{s}}{2 \times \pi \times f \times [(r_1 + r_2'/s)^2 + (x_1 + x_2')^2]}$$

$$M_d = \frac{3 \cdot 2 \cdot 380^2 \cdot \frac{0,4}{0,02}}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot [(0,36 + 0,4/0,02)^2 + (0,62 + 0,58)^2]}$$

$$M_d = 132,6 \text{ Nm}$$

$$P_c = M_d \times \omega = 132,6 \times 2 \times \pi \times \frac{1470}{60} = 20411 \text{ W}$$

L tipi eşdeğer devreden;

$$I_1 \cong I_2' = \frac{V}{\sqrt{(r_1 + r_2'/s)^2 + x_k^2}}$$

$$I_2' = \frac{380}{\sqrt{(0,36 + 0,4/0,02)^2 + 1,2^2}} = 18,63 \text{ A}$$

$$b) s_d = \frac{r_2'}{x_1 + x_2} = \frac{0,4}{0,62 + 0,58} = 0,333$$

$$M_d = \frac{m \times p \times V^2}{2 \times \omega_s \times [r_1 + x_1 + x_2]}$$

$$M_d = \frac{3 \times 2 \times 380^2}{2 \times \pi \times 50 \times [0,36 + 0,62 + 0,58]} = 17677,8 \text{ Nm}$$

$$I_k = \frac{V}{\sqrt{(r_k^2 + x_k^2)}} = \frac{380}{\sqrt{(0,76^2 + 1,2^2)}} = 267,5 \text{ A}$$

$$M_k = \frac{m \times p \times V^2}{2 \times \pi \times f \times [r_k^2 + x_k^2]} = \frac{3 \times 2 \times 380^2 \times 0,4}{2 \times \pi \times 50 \times [0,76^2 + 1,2^2]} = 546,7 \text{ Nm}$$

36) 380V, 50Hz şebekeden beslenen dört kutuplu bilezikli makinenin eşdeğer

devre elemanları $r_1=0,22 \Omega$, $r_2=0,28 \Omega$, $x_1=0,35 \Omega$, $x_2=0,32 \Omega$ olarak

verilmektedir. Yıldız bağlı olan bu motorda,

- a) Devrilme kaymasını, devrilme momentini,
b) Motorun maksimum momentle yol alabilmesi için bileziklere bağlanması gereken direncin statora indirgenmiş değerini bulun.
c) Bileziklere bağlanan bu direnç değeri ile $s=0,20$ kaymasına ulaşıldığında makinenin ürettiği momenti, çektiği akımı ve devir sayısını hesaplayınız.

ÇÖZÜM

$$s_d = \frac{r_2'}{\sqrt{[r_1^2 + (x_1 + x_2')^2]}} = \frac{0,28}{\sqrt{[0,22^2 + (0,35 + 0,32)^2]}} = 0,397$$

$$M_d = \frac{m \times p \times V^2 \times \frac{r_2'}{s_d}}{2 \times \pi \times f \times [(r_1 + r_2'/s_d)^2 + (x_1 + x_2')^2]}$$

$$M_d = \frac{3 \times 2 \times \left(\frac{380}{\sqrt{3}}\right)^2 \times \frac{0,28}{0,397}}{100 \times \pi \times [(0,22 + 0,28/0,397)^2 + (0,35 + 0,32)^2]} = 499,8 \text{ Nm}$$

$$b) M_{s=\max} = \frac{m \times p \times V^2 \times \frac{r_2'}{s}}{2 \times \pi \times f \times [(r_1 + r_2'/s)^2 + (x_1 + x_2')^2]}$$

Asenkron motorun maksimum momentini devrilme momentidir.

$$M_{s=\max} = \frac{m \times p \times V^2 \times \left(\frac{r_2' + r_y'}{s}\right)}{2 \times \pi \times f \times [(r_1 + r_2' + r_y')/s]^2 + (x_1 + x_2')^2}$$

$$499,8 = \frac{3 \cdot 2 \cdot \left(\frac{380}{\sqrt{3}}\right)^2 \cdot (0,28 + r_y')}{100 \cdot \pi [(0,22 + (0,28 + r_y'))^2 + (0,35 + 0,32)^2]}$$

$$r_y' = 2,5 \Omega$$

$$c) M = \frac{m \times p \times V^2 \times \left(\frac{r_2' + r_y'}{s}\right)}{2 \times \pi \times f \times [(r_1 + (r_2' + r_y'))/s]^2 + (x_1 + x_2')^2}$$

$$M = \frac{3 \cdot 2 \cdot \left(\frac{380}{\sqrt{3}}\right)^2 \cdot \left(\frac{0,28 + 1,5}{0,2}\right)}{100 \cdot \pi [(0,22 + \left(\frac{0,28 + 1,5}{0,2}\right))^2 + (0,35 + 0,32)^2]} = 369,84 \text{ Nm}$$

$$I_1 = \frac{V_1}{\sqrt{(r_1 + (r_2' + r_y')/s)^2 + x_k^2}}$$

$$I_1 = \frac{\frac{380}{\sqrt{3}}}{\sqrt{(0,22 + (0,28 + 1,5)/0,2)^2 + 0,67^2}} = 24,4 \text{ A}$$

$$n_s = \frac{60 \times f}{p} = \frac{60 \times 50}{2} = 1500 \text{ min}^{-1}$$

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \Rightarrow 0,2 = \frac{1500 - n}{1500} \Rightarrow n = 1200 \text{ min}^{-1}$$

37) Eşdeğer devre parametreleri $r_1=0,2 \Omega$, $r_2'=0,25 \Omega$, $x_1=0,4 \Omega$, $x_2'=0,45 \Omega$, $x_m=250 \Omega$, $r_{fe}=200 \Omega$ olan yıldız bağlı bir asenkron motor 380V, 50Hz şebekede 1440 min^{-1} anma hızı ile çalışmaktadır.

a) Makinenin tam yükte üreteceği momentini,

b) Yol alma momentini ve yol alma akımını,

c) Yük momentinin yarıya düşmesi halinde motorun yeni hızını ve kaymasını hesaplayınız.

ÇÖZÜM

$$a) s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{1500 - 1440}{1500} = 0,04$$

$$M = \frac{m \times p \times V^2 \times \frac{r_2'}{s}}{2 \times \pi \times f \times [(r_1 + r_2'/s)^2 + (x_1 + x_2')^2]}$$

$$M = \frac{3 \times 2 \times \left(\frac{380}{\sqrt{3}}\right)^2 \times \left(\frac{0,25}{0,04}\right)}{100 \times \pi \times [(0,2 + \left(\frac{0,25}{0,04}\right))^2 + (0,4 + 0,45)^2]}$$

$$M = 136,5 \text{ Nm}$$

b) Kalkış anında $s=1$ olmaktadır. Buna göre

$$M_{s=1} = \frac{m \times p \times V^2 \times \frac{R_2'}{s}}{2 \times \pi \times f \times [(R_1 + R_2'/s)^2 + (X_1 + X_2')^2]}$$

$$M_{s=1} = \frac{3 \times 2 \times \left(\frac{380}{\sqrt{3}}\right)^2 \times \left(\frac{0,25}{1}\right)}{100 \times \pi \times [(0,2 + \left(\frac{0,25}{1}\right))^2 + (0,4 + 0,45)^2]}$$

$$M_{s=1} = 249,83 \text{ Nm}$$

$$I_1 = \frac{V_1}{\sqrt{(r_1 + (r_2')/s)^2 + x_k^2}}$$

$$I_1 = \frac{\frac{380}{\sqrt{3}}}{\sqrt{(0,2 + (0,25)/0,04)^2 + 0,85^2}} = 228,75 \text{ A}$$

$$c) M' = \frac{M}{2} = \frac{136,5}{2} = 68,25 \text{ Nm}$$

$$M = \frac{m \times p \times V^2 \cdot \frac{r_2}{s}}{2 \times \pi \times f \times [(r_1 + r_2 / s)^2 + (x_1 + x_2)^2]}$$

$$68,25 = \frac{3 \times 2 \times \left(\frac{380}{\sqrt{3}}\right)^2 \times \left(\frac{0,25}{s}\right)}{100 \times \pi \times \left[\left(0,2 + \left(\frac{0,25}{s}\right)\right)^2 + (0,4 + 0,45)^2\right]}$$

$$s = 0,24$$

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500 \text{ d / dk}$$

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \Rightarrow 0,24 = \frac{1500 - n}{1500} \Rightarrow n = 1140 \text{ min}^{-1}$$

38) Üç fazlı sincap kafesli bir asenkron makinenin 50Hz, 380V şebekede çalışmaktadır. Aşağıda verilen değerler elde edilmiştir. 132kW, 990 min⁻¹, Cosφ=0.87, η=93, üçgen bağlı makinenin I_k/I_n=6, M_k/M_n=2, M_d/M_n=2,5'dir. Yaklaşık eşdeğer devreyi kullanarak makine parametrelerini, devrilme kaymasını hesaplayınız.

ÇÖZÜM

$$\eta = \frac{P_g}{P_g} \Rightarrow 0,93 = \frac{132 \times 10^3}{P_g}$$

$$P_g = 141,93 \times 10^3$$

$$P_g = \sqrt{3} \cdot V_{fa} \cdot I_h \cdot \text{Cos}\phi$$

$$I_h = \frac{141,93 \times 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,87} = 247,87 \text{ A}$$

Bir faz sargısından geçen akım

$$I_{ns} = \frac{I_h}{\sqrt{3}} = 143,10 \text{ A}$$

$$I_k = I_n \times 6 = 6 \times 143,10 = 858,64 \text{ A}$$

$$M_n = \frac{P_g}{2 \cdot \pi \cdot \frac{n}{60}} = \frac{132000}{2 \cdot \pi \cdot \frac{990}{60}} = 25,26 \text{ Nm}$$

$$M_k = 2 \cdot M_n = 2 \cdot 25,26 = 50,52 \text{ Nm}$$

$$M_d = 2,5 \cdot M_n = 2,5 \cdot 25,26 = 63,15 \text{ Nm}$$

$$M_n = \frac{m \times p \times V^2 \times \frac{r_2}{s}}{2 \times \pi \times f \times [(r_1 + r_2 / s)^2 + (x_1 + x_2)^2]}$$

$$25,26 = \frac{3 \cdot 3 \cdot 380^2 \cdot \frac{r_2}{0,01}}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot [(r_1 + r_2 / 0,01)^2 + x_k^2]}$$

Denklem 1

$$V = I_n \times \sqrt{(r_1 + \frac{r_2}{s})^2 + x_k^2}$$

$$380 = 247,87 \times \sqrt{(r_1 + \frac{r_2}{0,01})^2 + x_k^2}$$

$$\frac{380^2}{247,87^2} = (r_1 + r_2 / 0,01)^2 + x_k^2$$

Denklem 2

Denklem 2'de bulunan eşitlik denklem 1'de yerine konulursa

$$25,26 = \frac{3 \times 3 \times 380^2 \times \frac{r_2}{0,01}}{2 \times \pi \times 50 \times [(r_1 + r_2 / 0,01)^2 + x_k^2]}$$

$$25,26 = \frac{3 \times 3 \times 380^2 \times \frac{r_2'}{0,01}}{2 \times \pi \times 50 \times \left(\frac{380^2}{247,87^2} \right)}$$

$$r_2' = 1,435 \cdot 10^{-4} \Omega \quad 1,435 \times 10^{-4} \Omega$$

$$\cos \varphi = \frac{r_1 + \frac{r_2'}{s}}{\sqrt{\left(r_1 + \frac{r_2'}{s} \right)^2 + x_k^2}}$$

$$0,87 = \frac{r_1 + \frac{1,435 \cdot 10^{-4}}{0,01}}{\left(\frac{380}{247,87} \right)}$$

$$r_1 = 1,316 \Omega \quad 1,316 \Omega$$

Hesaplanan parametreleri denklem 2'de yerine koyarsak

$$\frac{380^2}{247,87^2} = \left(r_1 + r_2' / 0,01 \right)^2 + x_k^2$$

$$x_k^2 = \left(\frac{380}{247,87} \right)^2 - \left(1,316 + \frac{1,435 \times 10^{-4}}{0,01} \right)^2$$

$$x_k = 0,58 \Omega \Rightarrow x_1 \cong x_2 = \frac{x_k}{2} = \frac{0,58}{2} = 0,29 \Omega$$

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} = \frac{1000 - 990}{1000} = 0,01$$

$$n_s = \frac{60 \times 50}{p}$$

Senkron devir sayısı 1000 olarak alınmıştır. Çünkü senkron devir sayıları 3000-1500-1000-750 olarak değişir. Motor çalışma için verilen anma motor hızı için en uygun senkron hızı 1000 min^{-1} 'dir

$$\frac{M}{M_d} = \frac{2}{\frac{s}{s_d} + \frac{s_d}{s}} \Rightarrow \frac{1}{2,5} = \frac{2}{\frac{0,01}{s_d} + \frac{s_d}{0,01}}$$

$$s_d = 0,0479$$

39) Plaka değerleri 75kW, 380V, 1479d/dk, $\cos \varphi = 0,865$, $\eta = \%93,4$ olan kafesli bir üç fazlı asenkron motor, 50Hz'lik şebekede çalışmaktadır. Yol verme akımının anma akımına oranı 5,76, kalkış momentinin, anma momentine oranı 2,36'dır. Motor üçgen bağlıdır. Yaklaşık eşdeğer devreyi kullanarak bu motorun eşdeğer devre parametrelerini hesaplayınız.

ÇÖZÜM

$$a) \eta = \frac{P_f}{P_g} \Rightarrow 0,934 = \frac{75 \times 10^3}{P_g}$$

$$P_g = 80,3 \times 10^3$$

$$P_g = \sqrt{3} \cdot V_{fa} \cdot I_h \cdot \cos \varphi$$

$$I_h = \frac{80,3 \times 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,865} = 141 \text{ A}$$

Bir faz sargısından geçen akım

$$I_{ns} = \frac{I_h}{\sqrt{3}} = 143,10 \text{ A}$$

$$I_m = I_1 = \frac{141}{\sqrt{3}} = 81,43 \text{ A}$$

$$I_k = I_n \times 5,76 = \frac{141}{\sqrt{3}} \cdot 5,76 = 469 \text{ A}$$

$$z_k = \frac{V_1}{I_k} = \frac{380}{469} = 0,81 \Omega$$

$$M_n = \frac{P_\phi}{2 \times \pi \times \frac{n}{60}} = \frac{75000}{2 \times \pi \times \frac{1479}{60}} = 484,2 \text{ Nm}$$

$$M_k = 2,36 \times M_n = 2,36 \times 484,2 = 1142,8 \text{ Nm}$$

$$M_k = \frac{m \times p \times r_2' \times V^2}{2 \times \pi \times f \times [z_k^2]}$$

$$1142,8 = \frac{3 \times 2 \times r_2' \times 380^2}{2 \times \pi \times 50 \times [0,81^2]}$$

$$r_2' = 0,335 \Omega$$

$$\text{buradan } r_1 \cong r_2' = 0,335 \Omega$$

$$x_1 + x_2' = \sqrt{z_k^2 - (r_1 + r_2')^2} = \sqrt{0,81^2 - (0,335 + 0,335)^2} = 0,737 \Omega$$

$$\text{buradan } x_1 \cong x_2' = \frac{0,737}{2} = 0,368 \Omega$$

40) Plaka değerleri 45kW, 380V, 730d/dk, Cosφ=0.82, η=92 olan kafesli bir üç fazlı asenkron motor, 50Hz'lik şebekede çalışmaktadır. Motor üçgen bağlıdır. Motorun şebekeden çektiği anma akımını, momentini, şebekeden çektiği aktif ve reaktif güçleri, toplam kayıplarını ve mil momentini hesaplayınız.

ÇÖZÜM

$$\eta = \frac{P_\phi}{P_g} \Rightarrow 0,92 = \frac{45000}{P_g} \Rightarrow P_g = 48913 \text{ W}$$

$$P_g = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi \Rightarrow 48913 = \sqrt{3} \times 380 \times I \times 0,82$$

$$I = 90,63 \text{ A}$$

$$\phi = \cos^{-1}(0,82) = 34,91^\circ \quad \sin 34,91 = 0,572$$

$$Q = \sqrt{3} \times V \times I \times \sin \phi = \sqrt{3} \times 380 \times 90,63 \times 0,572 = 34120,25 \text{ Var}$$

$$P_k = P_g - P_\phi = 48913 - 45000 = 3913 \text{ W}$$

$$M_n = \frac{P_\phi}{2 \cdot \pi \cdot \frac{n}{60}} = \frac{45000}{2 \cdot \pi \cdot \frac{730}{60}} = 588,7 \text{ Nm}$$

41) Plaka değerleri 90kW, 380V, 50Hz, 982d/dk, Cosφ=0.86, verimi 0.935 olan asenkron makinenin anma yükündeki momentini $M_N=875,7 \text{ Nm}$ olup üçgen bağlıdır. Yaklaşık eşdeğer devreyi kullanarak r_1 , r_2' , x_1 ve x_2' eşdeğer devre parametrelerini hesaplayınız.

ÇÖZÜM

a)

$$\eta = \frac{P_\phi}{P_g} \Rightarrow 0,935 = \frac{90000}{P_g} \Rightarrow P_g = 96250 \text{ W}$$

$$P_g = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi$$

$$48913 = \sqrt{3} \times 380 \times I \times 0,82$$

$$I = 170 \text{ A}$$

$$I_n = \frac{I_n}{\sqrt{3}} = \frac{170}{\sqrt{3}} = 98,2 \text{ A}$$

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{1000 - 982}{1000} = 0,018$$

$$V = I_n \times \sqrt{(r_1 + \frac{r_2'}{s})^2 + x_k^2} \Rightarrow 380 = 98,2 \times \sqrt{(r_1 + \frac{r_2'}{0,018})^2 + x_k^2} \quad (1)$$

$$M_n = \frac{m \times p \times V^2 \times \frac{r_2'}{s}}{2 \times \pi \times f \times [(r_1 + r_2'/s)^2 + (x_1 + x_2')^2]}$$

$$875,7 = \frac{3 \times 3 \times 380^2 \times \frac{r_2'}{0,018}}{2 \times \pi \times 50 \times [(r_1 + r_2'/0,018)^2 + x_k^2]} \quad (2)$$

1 ve 2 nolu denklemler dikkate alınarak her iki denklemden de aynı ifade alınarak;

$$(r_1 + r_2' / 0,018)^2 + x_k'^2 = \frac{380^2}{98,2^2} = \frac{3 \times 3 \times r_2' \times 380^2}{875,7 \times 2\pi \times 50 \times 0,018} \quad \text{bu eşitlikten}$$

r_2' parametresi çekilirse;

$$r_2' = \frac{380^2}{98,2^2} \times \frac{875,7 \times 2 \times \pi \times 50 \times 0,018}{3 \times 3 \times 380^2} = 0,057 \Omega$$

$$\cos\varphi = \frac{r_1 + \frac{r_2'}{s}}{\sqrt{(r_1 + \frac{r_2'}{s})^2 + x_k'^2}} \Rightarrow 0,86 = \frac{r_1 + \frac{0,057}{0,018}}{\left(\frac{380}{98,2}\right)^2} \Rightarrow r_1 = 0,158 \Omega$$

$$x_k'^2 = \left(\frac{380}{98,2}\right)^2 - \left(0,158 + \frac{0,057}{0,018}\right)^2$$

$$x_k = 1,98 \Omega \Rightarrow x_1 \cong x_2 = \frac{x_k}{2} = \frac{1,98}{2} = 0,99 \Omega$$

42) Yıldız bağlı bilezikli bir asenkron motorun plaka değerleri 45kW, 380V, 50Hz, 1470d/dk, $\cos\varphi=0.86$, 85A'dir. Devrilme ile anma momenti arasındaki oran $M_d/M_n=2.5$ 'dir. Boşta endüklenen sekonder gerilim $E_{20}=180V$, sekonder anma akımı $I_{2n}=25A$ 'dir.

- M_d ve M_n momentlerini Nm olarak,
- Anma çalışmasındaki verimini, iki bilezik arasında endüklenen rotor gerilimini, rotor faz empedansını,
- Devrilme kayması ve devir sayısını hesaplayınız.

ÇÖZÜM

$$a) M_n = \frac{P_\varphi}{2\pi \cdot \frac{n}{60}} = \frac{45000}{2\pi \cdot \frac{1470}{60}} = 292,3 \text{ Nm}$$

$$M_d = M_n \times 3,2 = 292,3 \times 3,2 = 935,44 \text{ Nm}$$

$$b) P_g = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos\varphi = \sqrt{3} \times 380 \times 85 \times 0,908 = 50798 \text{ W } 50798 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_\varphi}{P_g} = \frac{45000}{50798} = \% 88,5$$

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{1500 - 1470}{1500} = 0,02$$

$$\text{Hareket halinde gerilim } E_{2h} = E_{20} \times s = 180 \times 0,02 = 3,6 \text{ V}$$

$$z_2 \text{ rotor faz empedansı } z_2 = \frac{E_{2h}}{\sqrt{3} \cdot I_2} = \frac{3,6}{\sqrt{3} \times 25} = 0,083 \Omega$$

$$c) \frac{M}{M_d} = \frac{2}{\frac{s + s_d}{s_d} + \frac{s_d}{s}} \Rightarrow \frac{1}{2,5} = \frac{2}{\frac{0,02}{s_d} + \frac{s_d}{0,02}} \Rightarrow s_d = 0,0958$$

$$n_d = n_s \cdot (1 - s_d) = 1500(1 - 0,0958) = 1356,2 \text{ min}^{-1}$$

43) Eşdeğer devre parametreleri $r_1=0,35 \Omega$, $r_2'=0,40 \Omega$, $x_1=0,42 \Omega$, $x_2'=0,42 \Omega$, $x_m=15.8 \Omega$, $r_{fe}=0 \Omega$, kayması %8 olan, üç fazlı, dört kutuplu, 380V-50Hz şebekede çalışan yıldız bağlı makinenin;

- Yol alma akımının anma akımına oranını,
- Yol alma momentinin anma momentine oranını,
- Devrilme kayması, devrilme devir sayısı ve devrilme momentini hesaplayınız.

ÇÖZÜM

$$a) I_K = \frac{V}{\sqrt{(r_1 + r_2')^2 + (x_1 + x_2')^2}}$$

$$I_K = \frac{380}{\sqrt{(0,36 + 0,4)^2 + (0,42 + 0,42)^2}} = 194 \text{ A}$$

$$I_n = \frac{V}{\sqrt{(r_1 + \frac{r_2}{s})^2 + (x_1 + x_2')^2}}$$

$$I_n = \frac{380}{\sqrt{3}} = 40,5A$$

$$I_n = \frac{380}{\sqrt{(0,36 + \frac{0,4}{0,08})^2 + (0,42 + 0,42)^2}} = 40,5A$$

$$\frac{I_y}{I_n} = \frac{194}{40,5} = 4,78$$

$$b) M_K = \frac{m \times p \times V^2 \times \frac{r_2}{s}}{2 \times \pi \times f \times [(r_1 + r_2/s)^2 + (x_1 + x_2')^2]}$$

$$M_K = \frac{3 \times 2 \times 220^2 \times \frac{0,4}{1}}{2 \times \pi \times 50 \times [(0,36 + 0,4/1)^2 + 0,84^2]} = 288,1Nm$$

$$M_n = \frac{m \times p \times V^2 \times \frac{r_2}{s}}{2 \times \pi \times f \times [(r_1 + r_2/s)^2 + (x_1 + x_2')^2]}$$

$$M_n = \frac{3 \times 2 \times 220^2 \times \frac{0,4}{0,08}}{2 \times \pi \times 50 \times [(0,36 + 0,4/0,08)^2 + 0,84^2]} = 154Nm$$

$$\frac{M_y}{M_n} = \frac{288,1}{154} = 1,83$$

$$c) s_d = \frac{r_2}{\sqrt{r_1^2 + (2 \cdot x_1)^2}} = \frac{0,4}{\sqrt{0,36^2 + (2 \cdot 0,42)^2}} = 0,437$$

$$n_d = n_s \cdot (1 - s_d) = 1500(1 - 0,437) = 844,5 \text{ min}^{-1}$$

$$n_s = \frac{60 \times f}{p} = \frac{60 \times 50}{2} = 1500 \text{ min}^{-1}$$

$$M_d = \frac{m \times p \times V^2 \times \frac{r_2}{s}}{2 \times \pi \times f \times [(r_1 + r_2/s)^2 + (x_1 + x_2')^2]}$$

$$M_d = \frac{3 \times 2 \times 220^2 \times \frac{0,4}{0,437}}{2 \times \pi \times 50 \times [(0,36 + 0,4/0,437)^2 + 0,84^2]} = 362,8 \text{ Nm}$$

44) 100HP, 400V, 970d/dk, üç faz, 50Hz, Cosφ=0.80 olan bir üçgen bağlı asenkron motorun anma yükünde verimi %87'dir. Motor direkt yol vermede anma akımının 6 katını çekiyor ve anma momentinin 1.08 katı olan moment ile kalkmaktadır. Makineye yıldız-üçgen bağlantı ile yol verilmesi halinde, kalkış akımını ve momentini bulunuz.

ÇÖZÜM

$$a) \eta = \frac{P_g}{P_e} \Rightarrow 0,87 = \frac{100 \times 746}{P_g} \Rightarrow P_g = 85,7 \text{ kW}$$

$$1 \text{ HP} = 746 \text{ W}$$

$$P_g = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi$$

$$85700 = \sqrt{3} \times 400 \times I \times 0,87$$

$$I = 154,7 \text{ A}$$

$$M_n = \frac{P_g}{2 \times \pi \times \frac{n}{60}} = \frac{100 \times 746}{2 \times \pi \times \frac{970}{60}} = 734,4Nm$$

Direkt yol vermede ise;

$$I_k = 6 \cdot I_n = 6 \cdot 154,7A$$

$$M_k = 1,08 \cdot M_n = 1,08 \cdot 734,4 = 264,4Nm$$

Yıldız bağlı durumda ise;

$$M_{\lambda k} = \frac{M_{\Delta k}}{3} = \frac{793,1}{3} = 264,38 \text{ Nm} \quad I_{\lambda} = \frac{I_{\Delta}}{3} = \frac{928,2}{3} = 309,4 \text{ A}$$

- 45) 50HP, 400V, 6 kutuplu, 50Hz, 950d/dk, üç fazlı bir asenkron motorun, rotorunun faz sargılarının statora indirgenmiş değerleri $r_2' = 0,05 \Omega/\text{faz}$, rotor dururken kaçak reaktansının indirgenmiş değeri $x_2' = 0,2 \Omega/\text{faz}$ 'dır. Makineden 30HP güç çekilirken yeni devir sayısını ve kaymasını hesaplayınız.

ÇÖZÜM

$$n_s = \frac{60 \times f}{p} = \frac{60 \times 50}{3} = 1000 \text{ min}^{-1}$$

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{1000 - 950}{1000} = 0,05$$

$$P_a = m_1 \times I_{2a}^2 \times r_2' \times \frac{1-s_a}{s_a} \quad \frac{P_a}{P_b} = \left(\frac{I_{2a}}{I_{2b}} \right)^2 \times \frac{s_b}{s_a} \cdot \frac{1-s_a}{1-s_b}$$

$$P_b = m_1 \times I_{2b}^2 \times r_2' \times \frac{1-s_b}{s_b}$$

$$I_{2a} = \frac{E_{20}}{\sqrt{\left(\frac{r_2'}{s_a} \right)^2 + x_2'^2}} \quad \frac{I_{2a}}{I_{2b}} = \frac{\sqrt{\left(\frac{r_2'}{s_b} \right)^2 + x_2'^2}}{\sqrt{\left(\frac{r_2'}{s_a} \right)^2 + x_2'^2}} \text{ 'dan}$$

$$I_{2b} = \frac{E_{20}}{\sqrt{\left(\frac{r_2'}{s_b} \right)^2 + x_2'^2}}$$

$$\frac{P_a}{P_b} = \left(\frac{\sqrt{\left(\frac{r_2'}{s_b} \right)^2 + x_2'^2}}{\sqrt{\left(\frac{r_2'}{s_a} \right)^2 + x_2'^2}} \right)^2 \times \frac{s_b}{s_a} \times \frac{1-s_a}{1-s_b}$$

$$\frac{50}{30} = \left(\frac{\sqrt{\left(\frac{0,05}{s_b} \right)^2 + 0,2^2}}{\sqrt{\left(\frac{0,05}{0,05} \right)^2 + 0,2^2}} \right)^2 \cdot \frac{s_b}{0,05} \cdot \frac{1-0,05}{1-s_b}$$

$$s_b = 0,02857$$

- 46) Üç fazlı, yıldız bağlı bir asenkron motor 400V faz arası gerilimli ve frekansı 50Hz olan şebekeden beslenmektedir. Statorun sargısının faz başına empedansı $(0,4+j)$, statora indirgenmiş rotor empedansı $(0,6+j)$ ve mıknatıslanmanın seri eşdeğer empedansı $(10+j50)$ 'dir. Sürtünme kayıplarını 500W, anma kaymasını %5 seçerek, motorun plaka gücü ile güç faktörünü, T eşdeğer devresini kullanarak hesaplayınız.

ÇÖZÜM

$$V = \frac{400}{\sqrt{3}} = 231V$$

$$V = I_1 \cdot (0,4 + j) + I_0 \cdot (10 + j50)$$

$$I_1 = I_0 + I_2'$$

$$I_0(10 + j50) = I_2'(0,6 + j11,4 + j)$$

$$231 = I_1 \cdot (0,4 + j) + I_2' \cdot (12 + j)$$

$$I_1 = I_2' \left(1 + \frac{12 + j}{10 + j50} \right)$$

Gerilim eşitliğinde I_1 yerine rotor akımı cinsinden değeri yazıldığında;

$$I_2' = 17,822 - j2,781 = 18,03 \angle -83,56^\circ \text{ A}$$

$$I_1 = 19,648 \angle -20,89^\circ \text{ bulunur.}$$

$$I_0 = I_2' - I_1 = 18,03 \angle -83,56^\circ - 19,648 \angle -20,89^\circ = 4,252 \angle 18,03^\circ$$

Üretilen çıkış gücü ise;

$$P_{\phi}' = 3 \cdot I_2'^2 \cdot \frac{(1-s)}{s} \cdot r_2' = 3 \cdot (18,03)^2 \cdot \left(\frac{1-0,05}{0,05} \right) \cdot 0,6 = 11118W$$

$$\text{Milden çıkış olarak alınan } P_{\phi} = P_{\phi}' - P_{st} = 11118 - 500 = 10618W$$

Güç faktörü stator akımının açısı $\varphi = 20,89^\circ$ dir. Bu durumda güç faktörü $\cos\varphi_1 = 0,9342$

47) Eşdeğer devre parametreleri $r_1=0.2 \Omega$, $r_2=0.25 \Omega$, $x_1=0.4 \Omega$, $x_2=0.45\Omega$, $x_m=250 \Omega$, $r_{fe}=200 \Omega$ olan yıldız bağlı bir asenkron motorun anma gerilimi 380V olup anma devri 1440 min^{-1} dir.

- Makinenin 50Hz frekansta tam yükte üreteceği momenti,
- Yıldız bağlı durumda kalkış momentini,
- Yıldız bağlı durumda kalkış akımını
- Üçgen bağlı durumda gerilimin %10 azalması halinde yol alma akımını, yol alma momentini ve tam yükte momentini hesaplayınız.

ÇÖZÜM

$$a) s = \frac{1500 - 1440}{1500} = 0,04 \quad r_2' / s = \frac{0,25}{0,04} = 6,25\Omega$$

$$I_2' = \frac{V}{\sqrt{(r_1 + \frac{r_2'}{s})^2 + (x_1 + x_2')^2}} = \frac{220}{\sqrt{(0,2 + 6,25)^2 + (0,85)^2}} = 33,8A$$

$$P_\varphi = 3 \times 0,25 \times \frac{(1 - 0,04)}{0,04} \times 33,8^2 = 20,583W$$

$$M_{KT} = \frac{P_\varphi}{2 \times \pi \times n} = \frac{20583}{2 \times \pi \times \frac{1440}{60}} = 136,5 \text{ Nm}$$

$$b) M_k = \frac{m \times p \times V^2 \times \frac{r_2'}{s}}{2 \times \pi \times f \times [(r_1 + r_2' / s)^2 + (x_1 + x_2')^2]}$$

$$M_k = \frac{3 \times 2 \times 0,25 \times 220^2}{2 \times \pi \times 50 \times [(0,45)^2 + (0,85)^2]} = 249,8 \text{ Nm}$$

$$c) I_{2k}' = \frac{V}{\sqrt{(r_1 + \frac{r_2'}{s})^2 + (X_1 + X_2')^2}} = \frac{220}{\sqrt{(0,45)^2 + (0,85)^2}}$$

$$I_{2k}' = 228,7 \text{ A}$$

$$d) I_{2k}' = \frac{380 \cdot 0,90}{\sqrt{0,45^2 + 0,85^2}} = 355,6A$$

$$M_k = \frac{M_{k220}}{2202} \cdot (380 \cdot 0,9)^2 = 603,6 \text{ Nm}$$

$$M_{kT} = \frac{3 \times 2 \times 0,25 / 0,04 \times 380^2}{2 \times \pi \times 50 \times [(0,2 + 6,25)^2 + (0,4 + 0,45)^2]} = 401,2 \text{ Nm}$$

48) L eşdeğer devresi $r_1 + r_2' = 0,63 \Omega$, $x_1 + x_2' = 1,65 \Omega$, $x_m = 50 \Omega$, $r_{fe} = 200 \Omega$ olarak verilen 50Hz frekansta 1470d/dk anma hızında ve 380V şebekede çalışan asenkron motorun sargıları üçgen bağlıdır.

- Motorun çektiği faz ve hat akımlarını,
- Toplam demir ve bakır kayıplarını,
- Randımanını ve güç faktörünü hesaplayınız.

ÇÖZÜM

$$a) z_k = 0,315 + \frac{0,315}{0,02} + 1,65j = 16 + 1,65j \Rightarrow z_k = 16 \angle 5,9^\circ$$

$$I_2' = \frac{380}{16 \angle 5,9} = 23,75A$$

$$I_{fe} = \frac{V}{r_{fe}} = \frac{380}{200} = 1,9A$$

$$I_\mu = \frac{V}{x_m} = \frac{380}{50} = 7,6A$$

$$I_0 = I_{fe} - jI_\mu = 1,9 - j7,6 = 7,83 \angle -76^\circ A$$

$$I_1 = 31,58 A$$

$$I_h = \sqrt{3} \times 31,58 = 54,69 \text{ A}$$

$$b) I_{fe} = \frac{V}{r_{fe}} = \frac{380}{200} = 1,9 \text{ A}$$

$$P_{fe} = 3 \times I_{fe}^2 \times r_{fe}$$

$$P_{fe} = 3 \cdot 1,9^2 \cdot 200 = 2166 \text{ W}$$

$$P_{cu} = 3 \cdot 23,75^2 \cdot 0,63 = 1066 \text{ W}$$

$$c) P_{\varphi} = 3 \times I_n^2 \times r_2' \cdot \frac{(1-s)}{s} = 3 \times 23,75^2 \times 0,315 \times \frac{(1-0,02)}{0,02} = 26118 \text{ W}$$

$$P_g = P_{\varphi} + P_k = P_{\varphi} + P_{fe} + P_{cut}$$

$$P_g = 26118 + 2166 + 1066 = 29350 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{26118}{29350} = 0,889$$

49) L eşdeğer devre parametreleri aşağıda verilen üç fazlı bir asenkron motor 1470d/dk hızda dönerken makinenin şebekeden çektiği akımı, toplam bakır ve demir kayıplarını hesaplayınız. Şebeke gerilimi 380V olup yıldız bağlı kabul edilecektir.

$$r_1=0,4\Omega, r_2'=0,8\Omega, x_1=1,2\Omega, x_2'=1,3\Omega, x_m=150\Omega, r_{fe}=350\Omega$$

ÇÖZÜM

$$s = \frac{1500 - 1470}{1500} = 0,02$$

$$\frac{r_2'}{s} = \frac{0,8}{0,02} = 40\Omega$$

$$I_2' = \frac{V}{\sqrt{(r_1 + \frac{r_2'}{s})^2 + (x_1 + x_2')^2}} = \frac{220}{\sqrt{(0,4 + 40)^2 + (1,2 + 1,3)^2}} = \frac{220}{40,47}$$

$$I_2' = 5,43 \text{ A}$$

$$I_{fe} = \frac{V}{r_{fe}} = \frac{220}{350} = 0,628 \text{ A}$$

$$I_{\mu} = \frac{V}{x_m} = \frac{380}{150} = 2,53 \text{ A}$$

$$I_0 = I_{fe} - jI_{\mu} = 0,628 - j2,53 = 2,60 \angle -67^{\circ} \text{ A}$$

$$I_1 = I_2' + I_0 = 8,03 \text{ A}$$

$$P_{cu} = 3 \times I_1^2 \times (r_1 + r_2') = 3 \times 5,34^2 \times (0,4 + 0,8)$$

$$P_{cu} = 1062 \text{ W}$$

$$I_{fe} = \frac{V}{r_{fe}} = \frac{220}{350} = 0,628 \text{ A}$$

$$P_{fe} = 3 \times I_{fe}^2 \times r_{fe} \quad P_{fe} = 3 \times 0,628^2 \times 350 \Rightarrow P_{fe} = 415 \text{ W } 415 \text{ W}$$

50) 380V, 50Hz şebekede çalışın sargıları yıldız bağlı, üç fazlı bir asenkron motorun bir fazına ait eşdeğer devre parametreleri ve anma devir sayısı aşağıdaki gibi verilmektedir.

$$r_1=0,22\Omega, r_2'=0,25\Omega, x_1=0,4\Omega, x_2'=0,5\Omega, x_m=330\Omega, r_{fe}=440\Omega, n=1470\text{d/dk},$$

V=380V, f=50Hz. L eşdeğer devreyi kullanarak;

- Anma devir sayısında rotor akımı,
- Motorda üretilen toplam demir ve bakır kayıplarını,
- Sürtünme+vantilasyon kayıplarını çıkış gücünün %1,5'üğü alınarak şebekeden çekilen gücü ve milden verilen gücü,
- Motorun yol alma akımını ve momentini hesaplayınız.

ÇÖZÜM

$$a) s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{1500 - 1470}{1500} = 0,02$$

$$I_2' = \frac{V_1}{\sqrt{(r_1 + \frac{r_2'}{s})^2 + (x_1 + x_2')^2}} = \frac{\frac{380}{\sqrt{3}}}{\sqrt{(0,22 + \frac{0,25}{0,02})^2 + (0,4 + 0,5)^2}} = 17,25 \text{ A}$$

$$I_0 = \sqrt{I_{fe}^2 + I_m^2} = \sqrt{0,5^2 + 0,666^2} = 0,832$$

$$I_1 = I_2' + I_0 = 17,25 + 0,832 = 18,08 \text{ A}$$

$$b) I_{fe} = \frac{V}{r_{fe}} = \frac{220}{440} = 0,5 \text{ A}$$

$$P_{fe} = m \times I_{fe}^2 \times r_{fe} = 3 \times 0,5^2 \times 440 = 330 \text{ W}$$

$$P_{cu} = m \cdot I_2'^2 \cdot (r_1 + r_2') = 3 \cdot 17,25^2 \cdot (0,22 + 0,25) = 420 \text{ W}$$

$$c) P_{\phi} = m \times I_2'^2 \times r_2' \frac{(1-s)}{s} = 3 \times (17,25)^2 \times 0,25 \times \frac{(1-0,02)}{0,02} = 10935 \text{ W}$$

$$P_{st} = \%1,5 \cdot P_{\phi} = \%1,5 \cdot 10935 = 164 \text{ W}$$

$$P_g = P_{\phi} + P_{st} + P_{cu} + P_{fe} = 10935 + 164 + 420 + 330 = 11849 \text{ W}$$

$$d) I_k = \frac{V_1}{\sqrt{(r_1 + \frac{r_2'}{s})^2 + (x_1 + x_2')^2}}$$

$$I_k = \frac{\frac{380}{\sqrt{3}}}{\sqrt{(0,22 + \frac{0,25}{1})^2 + (0,4 + 0,5)^2}} = 216,6 \text{ A}$$

$$M_{dk} = \frac{m \times p \times V^2 \times \frac{r_2'}{s}}{2 \times \pi \times f \times [(r_1 + r_2'/s)^2 + (x_1 + x_2')^2]}$$

$$M_{dk} = \frac{3 \times 2 \times 220^2 \times \frac{0,25}{1}}{2 \times \pi \times 50 \times [(0,22 + 0,25/1)^2 + 0,9^2]} = 224 \text{ Nm}$$

51) Üç fazlı yıldız bağlı 4 kutuplu 380 voltluk bir bilezikli asenkron motorun anma devir sayısı 1420d/dk olup eşdeğer devre parametreleri şöyle verilmektedir.

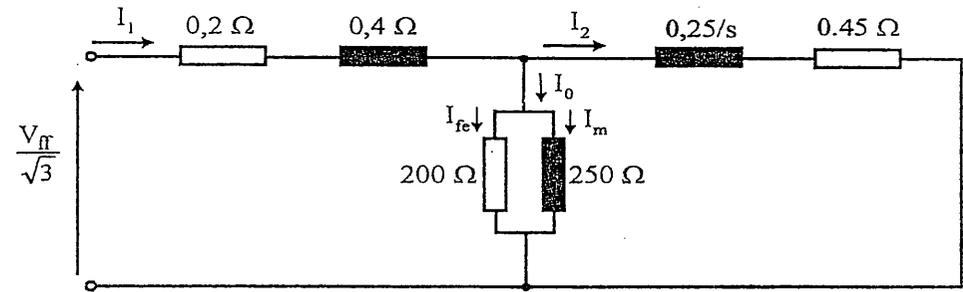
$$r_1=0,2\Omega, r_2'=0,25\Omega, x_1=0,4\Omega, x_2'=0,45\Omega, x_m=250\Omega, r_{fe}=200\Omega$$

- Makinenin eşdeğer devresini çizerek kaymayı hesaplayarak parametrelerin nümerik değerlerini eşdeğer devrede yerine koyunuz.
- Makinenin yol alma akımını,
- Makinenin yol alma momentini hesaplayın.

ÇÖZÜM

$$a) s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{1500 - 1420}{1500} = 0,0533$$

$$\frac{r_2'}{s} = \frac{0,25}{0,0533} = 4,69\Omega$$



$$b) I_y = \frac{V_1}{\sqrt{(r_1 + \frac{r_2'}{s})^2 + (x_1 + x_2')^2}}$$

$$I_y = \frac{380}{\sqrt{3}} = 228,7 \text{ A}$$

$$I_y = \frac{380}{\sqrt{(0,2 + \frac{0,25}{1})^2 + (0,4 + 0,45)^2}} = 228,7 \text{ A}$$

$$c) M_n = \frac{P_g}{w_s(1-s)} = \frac{3 \times I_2'^2 \times r_2' \left(\frac{1-s}{s}\right)}{w_s(1-s)} = \frac{3 \times I_2'^2 \times r_2'}{w_s \times s}$$

$$w_s = \frac{2\pi n_s}{60}$$

$$M_y = \frac{3 \times V^2 \times r_2'}{w_s \times [(R_1 + R_2'/s)^2 + (X_1 + X_2')^2]}$$

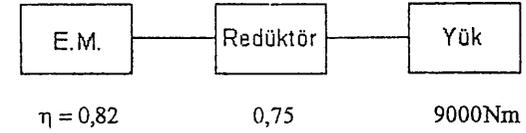
$$M_y = \frac{3 \times 220^2 \times 0,25}{2 \times \pi \times 1500/60 \times [(0,2 + 0,25/1)^2 + 0,85^2]} = 250 \text{ Nm}$$

52) Momentinin değeri ortalama 9000Nm verilen bir yükün 20d/dk döndürülmesi gerekmektedir. Yük tahrikinin bir elektrik motoru ile alternatif akım şebekesinden beslenerek yapılması ve devir sayısının düşük olması nedeniyle yük ile motor arasında bir dişli grubu (redüktör) konması uygun geldiği düşünülmektedir. Redüktör grubunun giriş ve çıkış dişlileri arasındaki oran 47 olup, grup randımanı %75'tir. Elektrik şebekesinin frekansını 50Hz alarak;

- Motorun devir sayısını ve toplam kutup adedini,
- Verilen moment değeri için motorun çıkış gücünü,
- Motorun verimini %90,5, güç faktörünü 0,82 alarak, gerilimi 380V olan şebekeden çektiği akımı,
- Kullanılacak olan motorun cinsini belirterek, plaka gücünü aşağıda verilen değerlerden birini seçiniz.

Güç (kW) olarak: 7,5- 11- 15- 18,5- 22- 30- 37- 45- 55- 75- 90- 110- 132

ÇÖZÜM



a) Dişli grubunda

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad 47 = \frac{n_2}{20} \Rightarrow n_2 = 940 \text{ min}^{-1}$$

$$p = \frac{60 \times f}{n_s} = \frac{60 \times 50}{1000} = 3 \text{ kutup çifti sayısı } 2p=6 \text{ 'dır.}$$

b) Yüke aktarılan güç ise $P = M_y \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} = 9000 \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{20}{60} = 18850 \text{ W}$

Redüktör giriş gücü ; $\frac{P_g}{\eta} = \frac{18850}{0,75} = 25133 \text{ W}$ bu güç motorun çıkış gücüdür.

c) Motorun çektiği güç $P_g = \frac{P_f}{\eta} = \frac{25133}{0,905} = 27772 \text{ W}$

$$I = \frac{P_g}{\sqrt{3} \times V \times \cos \phi} = \frac{27772}{\sqrt{3} \times 380 \times 0,82} = 51,4 \text{ A,}$$

d) Asenkron motor, 30kW yıldız üçgen bağlıdır. Yıldız kalkışta çekilen akım üçgen kalkışa göre $\sqrt{3}$ defa daha küçük olmaktadır.

53) 3 fazlı asenkron motor kalkış sırasında sekonder gerilimi 0-400 V arasında ayarlanabilen oto-transformatör üzerinden yol almaktadır. Motor yol aldıktan sonra 50 kVA gücünde 15/0,38 kV Yy_0 $P_{fe} = 300 \text{ W}$, $P_{km} = 1200 \text{ W}$ 'lık bir transformatör üzerinden beslenmektedir. Motorun miline sabit momentli 171 Nm' lık bir yük bağlıdır. L eşdeğer devreyi kullanarak aşağıdaki soruları yanıtlayınız

Motor parametreleri 380 V, p=2, $r_1=0,08 \Omega$, $r_2=0,06 \Omega$, $x_{1\sigma}=0,25 \Omega$
 $x_{2\sigma}=0,02 \Omega$, $x_m=13,85 \Omega$, $P_{stv}=900 \text{ W}$, $M_d=870 \text{ Nm}$, $s_d=\%13,10$

f= 50 Hz

- a) Motorun kalkış yapabilmesi için oto-transformatörün sekonder gerilimini hesaplayınız.
- b) Motor bu yük ile anma geriliminde beslenirse, motorun devir hızını, çektiği akımı ve verimini hesaplayınız
- c) B şikkındaki çalışma şartlarında 50 kVA'lık transformatörün verimini hesaplayınız.

ÇÖZÜM

- a) Moment ifadesinden yola çıkarak gerekli olan gerilimi hesaplayabiliriz.

$$M = \frac{m \times p}{2 \times \Pi \times f} \times \frac{r_2'}{s} \times \frac{V^2}{\left[(r_1 + r_2')^2 + (x_{1\sigma} + x_{2\sigma}')^2 \right]}$$

Kalkış anında kayma s=1

$$171 = \frac{3 \times 2}{2 \times \Pi \times 50} \times \frac{0,06}{1} \times \frac{V^2}{\left[(0,08 + 0,06)^2 + (0,25 + 0,2)^2 \right]}$$

$$V = 182 \text{ V}$$

- b) Kloss denklemini kullanarak bu yük durumundaki kayma değeri hesaplanır

$$\frac{M}{M_d} = \frac{2}{\frac{s}{s_d} + \frac{s_d}{s}} \quad \frac{171}{870} = \frac{2}{\frac{s}{13,10} + \frac{13,10}{s}}$$

$$s^2 - 133s + 171,61 = 0$$

Denklem çözümü sonucunda iki değer elde edilir

$$s_1 = \%132,03 \quad s_2 = \%1,3$$

s_1 devrilme kaymasından büyük olduğundan doğru sonuç s_2 'dir.

$$n_r = n_s \times (1 - s) = \frac{60 \times f}{p} \times (1 - s) = \frac{60 \times 50}{2} \times (1 - 0,013) = 1481 \text{ min}^{-1}$$

Şekil asenkron motor L eşdeğer devre

$$Z_{2t} = \left(r_1 + \frac{r_2'}{s} \right) + j(x_{1\sigma} + x_{2\sigma}') = \left(0,08 + \frac{0,06}{0,013} \right) + j(0,25 + 0,2)$$

$$Z_{2t} = 4,695 + j0,45$$

$$Z_{eş} = \frac{(4,695 + j0,45) \times (j13,85)}{4,695 + j0,45 + j13,85} = (3,97 + j1,74) \Omega = 4,34 \angle 23,65^\circ$$

$$I = \frac{V}{Z_{eş}} = \frac{\left(\frac{380}{\sqrt{3}} \right)}{4,34} = 51 \angle -23,65^\circ \text{ A} \quad I_h = I \times \sqrt{3} = 51 \times \sqrt{3} = 88 \text{ A}$$

Verim ifadesini elde etmek için giriş elektriksel gücü ile çıkış mil gücünün hesaplanması gerekir

$$P_{elek} = \sqrt{3} \times 380 \times 88 \times \cos 23,65 = 53055 \text{ W}$$

$$P_{mek} = M \times \omega = 171 \times \frac{2 \times \Pi \times 1481}{60} = 26520 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_{mek}}{P_{elek}} = \frac{26520}{53055} = \%50$$

- c) Transformatörün verimi

$$\eta = \frac{x \times S \times \cos \varphi}{x \times S \times \cos \varphi + P_0 + x^2 P_{cu}}$$

Transformatörün yüklenme oranı

$$S = \sqrt{3} \times V_{fa} \times I_h \quad I_{h2} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V_{fa}} = \frac{50000}{\sqrt{3} \times 380} = 75,96 \text{ A} = I_{2n}$$

$$x = \frac{I_{2x}}{I_{2n}} = \frac{51}{75,96} = 0,671$$

$$\eta = \frac{x \times S \times \cos \varphi}{x \times S \times \cos \varphi + P_0 + x^2 P_{cu}} = \frac{0,671 \times 50000 \times \cos 23,65}{0,671 \times 50000 \times \cos 23,65 + 300 + (0,671^2 \times 1200)}$$

$$\eta = \%97$$

4) A Transformatörü bir fabrikadaki 100 kVA, $\cos\phi=0,8$ (end)'lik bir yükü ve 3 fazlı bir asenkron motoru beslemektedir.

Transformatörün plaka değerleri 500 kVA, 10/0,4 kV, Y_{y0} , $i_0=\%1,2$, $v_{kn}=\%4$, $P_0=1650$ W, $P_{kn}=2150$ W,

Asenkron motorun plaka değerleri 60 kW, 400 V, 1445 min^{-1} , $\cos\phi=0,8$ (end), yıldız bağlı olup anma çalışmasındaki verimi 0,87'dir. Motorun kalkış akımının anma akımına oranı (I_k/I_n) 4'tür.

a) Asenkron motorda kutup sayısını, senkron hızı, anma çalışmasında motorun transformatörden çektiği akımı aktif, reaktif ve görünür güçleri hesaplayınız

b) 100 kVA'lık yük devredeyken ve asenkron makine anma çalışmasındayken transformatörün verimini hesaplayınız. Yük devredeyken motorun yol almasını irdeleyiniz.

ÇÖZÜM

$$1) p=2, n_s=1500, P_{mek}=60 \text{ kW}, \quad P_{In} = \frac{60000}{0,87} = 68,965 \text{ kW},$$

$$I_{In} = \frac{68965}{\sqrt{3} \times 400 \times 0,8} = 124,4 \text{ A} \quad S_{In} = \sqrt{3} \times 400 \times 124,4 = 86,2 \text{ kVA}$$

$$Q_{In} = \sqrt{3} \times 400 \times 124,4 \times 0,6 = 51,7 \text{ kVAr},$$

$$b) \text{ Transformatörden toplam çekilen yük } P_T = 68,965 + 100 \times 0,8 = 148,965 \text{ kW},$$

Transformatörün yüklenme oranı

$$x_{trf} = \frac{86,2 + 100}{500} = \% 37,24$$

Transformatörün verimi ifadesi

$$\eta = \frac{x \times S \times \cos\phi}{x \times S \times \cos\phi + P_0 + x^2 P_{cu}}$$

$$\eta = \frac{0,3724 \times 500 \times 10^3 \times 0,8}{0,3724 \times 500 \times 10^3 \times 0,8 + 1650 + (0,3724^2 \times 2150)} = \% 98,7$$

Motorun kalkış akımının hesaplamak için kalkış akımının anma akımına oranını

$$\frac{I_k}{I_{In}} = 4 \text{ kullanmamız gerekir. } I_k = I_{In} \times 4 = 124,4 \times 4 = 497,6 \text{ A}$$

Kalkış sırasında çektiği güç

$$S_{kasm} = \sqrt{3} \times V \times I_k = \sqrt{3} \times 400 \times 497,6 = 344,75 \text{ kVA}$$

Transformatörden bu yük durumunda talep edilen güç ise

$$S_{ktrf} = 344,75 + 100 \times 0,8 = 444,75 \text{ kVA} < 500 \text{ kVA}$$

Çekilen güç transformatörün anam gücünden daha düşük olduğu için motor sağlıklı yol alır.