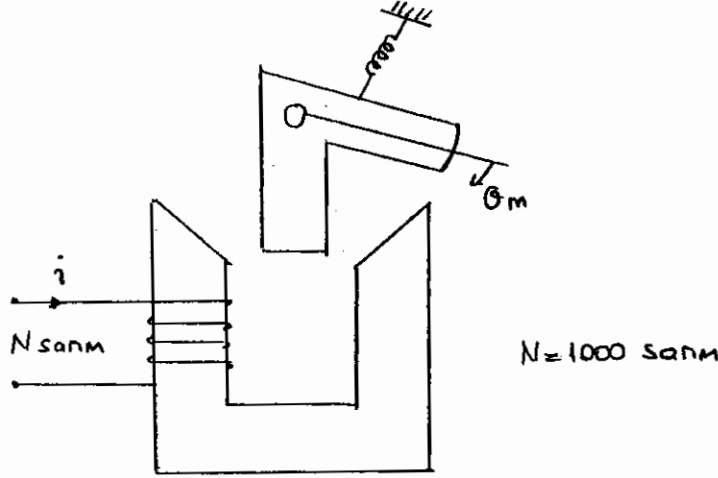


SORU:



Şekilde bir elektromekanik dönüştürücü gösterilmiştir. Sarğı uyarıldığında, dönel eksen, θ_m açısıyla ölçülen dönme yapmaktadır. Demir yapının magnetik direnci aşağıda verilmiştir.

$$R(\theta_m) = \frac{9000}{\theta_m + 3} \text{ A/Wb}$$

Burada θ_m derece ile ölçülen açıdır ve 5° ile 20° arasındadır. $i = 1,5$ doğru akım ve $\theta_m = 12^\circ$ iken üretilen momenti bulunuz.

$$M_e = -\frac{\phi^2}{2} \frac{dR}{d\theta}$$

$$N \cdot I = R \cdot \phi \Rightarrow \phi = \frac{N \cdot I}{R} = \frac{1000 \cdot 1,5}{\frac{9000}{12+3}} = 2,5 \text{ Wb.}$$

$$M_e = -\frac{2,5^2}{2} \frac{d}{d\theta} \left(\frac{9000}{\theta_m + 3} \right) = -3,125 \cdot \left(-\frac{9000}{(\theta_m + 3)^2} \right) = 3,125 \cdot \frac{9000}{(12+3)^2}$$

$$M_e = 125 \text{ N.m.}$$

SORU: Bir sisteme ilişkin denklem,

$$3x \frac{di}{dt} - 5i \frac{dx}{dt} + 2i^2 + kx^2 = k \text{ ile verilmiştir.}$$

a) $X_0 = 3\text{m}$, $I_0 = 2\text{A}$ bir çalışma noktası olduğuna göre k değişimini bulunuz.

b) Sistemi bu çalışma noktası etrafındaki küçük genlikli değişimler için, doğrusallaştırılmış denklemini bulunuz.

c) Sistemin geçis islevi $I_1(s)/X_1(s)$ bulunuz.

d) $X_1(t) = 0,5 \cdot e^{-3t}$ (m) olarak değiştiğinde $\dot{z}_1(t)$ nası değişir.

e) Sistemin kararlılığını irdelleyiniz.

$$a) 2 \cdot 2^2 + 4 \cdot 3^2 = K$$

$$K = 44$$

$$b) X = X_0 + X_1(t), \quad i = I_0 + \dot{z}_1(t), \quad v = V_0 + v_1(t)$$

$$X \cdot \frac{di}{dt} = (X_0 + X_1(t)) \frac{d}{dt} (I_0 + \dot{z}_1(t)) = (X_0 + X_1(t)) \cdot \frac{d\dot{z}_1(t)}{dt} = X_0 \cdot \frac{d\dot{z}_1(t)}{dt}$$

$$i \cdot \frac{dX}{dt} = (I_0 + \dot{z}_1(t)) \frac{d}{dt} (X_0 + X_1(t)) = (I_0 + \dot{z}_1(t)) \cdot \frac{dX_1(t)}{dt} = I_0 \cdot \frac{dX_1(t)}{dt}$$

$$i^2 = (I_0 + \dot{z}_1(t))^2 = I_0^2 + 2I_0 \cdot \dot{z}_1(t) + \cancel{\dot{z}_1(t)^2} = I_0^2 + 2I_0 \dot{z}_1(t)$$

$$X^2 = (X_0 + X_1(t))^2 = X_0^2 + 2X_0 \cdot X_1(t) + \cancel{X_1(t)^2} = X_0^2 + 2X_0 X_1(t)$$

$$3X_0 \cdot \frac{d\dot{z}_1(t)}{dt} - 5 \cdot I_0 \cdot \frac{dX_1(t)}{dt} + 2I_0^2 + 4I_0 \dot{z}_1(t) + 4X_0^2 + 8X_0 X_1(t) = 44$$

$$9 \cdot \frac{d\dot{z}_1(t)}{dt} - 10 \cdot \frac{dX_1(t)}{dt} + 8\dot{z}_1(t) + 24X_1(t) = 0$$

c)

$$9(s \cdot I_1(s) - \cancel{I_1(0)}) - 10(s \cdot X_1(s) - \cancel{X_1(0)}) + 8 \cdot I_1(s) + 24 \cdot X_1(s) = 0$$

$$I_1(s)(9s+8) + X_1(s)(-10s+24) = 0$$

$$T(s) = \frac{I_1(s)}{X_1(s)} = \frac{10s-24}{9s+8}$$

$$d) X_1(t) = 0,5 \cdot e^{-3t} \Rightarrow X_1(s) = \frac{0,5}{s+3}$$

$$I_1(s) = T(s) \cdot X_1(s) = \frac{5s-12}{(s+3)(9s+8)}$$

$$X_1(t) = \lim_{s \rightarrow -3} \left(\frac{5s-12}{9s+8} \cdot e^{st} \right) + \lim_{s \rightarrow -\frac{8}{9}} \left(\frac{5s-12}{s+3} \cdot e^{st} \right)$$

=

SORU: Bir sisteme ilişkin denklem aşağıda verilmiştir.

$$3x \cdot \frac{dv}{dt} - 5v \cdot \frac{dx}{dt} + 7v^2 - 4x^2 + 2vx = k$$

a) $X_0 = 3m$, $V_0 = 2V$ bir çalışma noktası olduğuna göre k değerini bulunuz.

b) Sistemin bu çalışma noktası etrafındaki küçük genlikli değişimler için, doğrusallaştırılmış denklemi bulunuz.

c) Sistemin geçiş işlevi $V_1(s) / X_1(s)$ bulunuz.

d) $X_1(t) = 0.7 \cdot e^{-2t}$ (m) olarak değiştiğinde $V_1(t)$ nasıl değişir.

e) Sistem kararlılığını irdelleyiniz.

$$a) 7 \cdot 2^2 - 4 \cdot 3^2 + 2 \cdot 2 \cdot 3 = k$$

$$k = 4$$

$$b) x = X_0 + x_1(t)$$

$$v = V_0 + v_1(t)$$

$$x \cdot \frac{dv}{dt} = (X_0 + x_1(t)) \cdot \frac{d}{dt} (V_0 + v_1(t)) = (X_0 + x_1(t)) \frac{dv_1(t)}{dt} = X_0 \cdot \frac{dv_1(t)}{dt}$$

$$v \cdot \frac{dx}{dt} = (V_0 + v_1(t)) \cdot \frac{d}{dt} (X_0 + x_1(t)) = (V_0 + v_1(t)) \cdot \frac{dx_1(t)}{dt} = V_0 \cdot \frac{dx_1(t)}{dt}$$

$$v^2 = (V_0 + v_1(t))^2 = V_0^2 + 2V_0 \cdot v_1(t) + \cancel{v_1(t)^2} = V_0^2 + 2V_0 v_1(t)$$

$$x^2 = (X_0 + x_1(t))^2 = X_0^2 + 2X_0 \cdot x_1(t) + \cancel{x_1(t)^2} = X_0^2 + 2X_0 x_1(t)$$

$$v \cdot x = (V_0 + v_1(t)) \cdot (X_0 + x_1(t)) = V_0 \cdot X_0 + V_0 \cdot x_1(t) + X_0 \cdot v_1(t) + \cancel{v_1(t) \cdot x_1(t)} \\ = V_0 \cdot X_0 + V_0 \cdot x_1(t) + X_0 \cdot v_1(t)$$

$$3 \cdot X_0 \cdot \frac{dv_1(t)}{dt} - 5V_0 \cdot \frac{dx_1(t)}{dt} + 7V_0^2 + 14V_0 \cdot v_1(t) - 4X_0^2 - 8X_0 \cdot x_1(t) + 2V_0 \cdot X_0 \\ + 2V_0 \cdot x_1(t) + 2X_0 \cdot v_1(t) = 4$$

$$9 \frac{dv_1(t)}{dt} - 10 \frac{dx_1(t)}{dt} + 34v_1(t) - 20x_1(t) = 0$$

$$9(s \cdot V_1(s) - V_1(0)) - 10(s \cdot X_1(s) - X_1(0)) + 34V_1(s) - 20X_1(s) = 0$$

$$V_1(s) \cdot (9s + 34) = X_1(s) (10s + 20)$$

$$T(s) = \frac{V_1(s)}{X_1(s)} = \frac{10s + 20}{9s + 34}$$

$$d) X_1(t) = 0,7 \cdot e^{-2t} \Rightarrow X_1(s) = \frac{0,7}{s+2}$$

$$V_1(s) = T(s) \cdot X_1(s)$$

$$V_1(s) = \frac{7s + 14}{(s+2)(9s+34)} = \frac{A}{s+2} + \frac{B}{9s+34}$$

$$9As + 34A + Bs + 2B = 7s + 14$$

$$-2/9A + B = 7$$

$$34A + 2B = 14$$

$$A = 0, B = 7$$

SORU: Bir elektromekanik dönüştürücünün davranışı aşağıdaki denklem ile ifade edilmektedir.

$$\frac{A}{x} + Bx + Cx \frac{di}{dt} + Di^2 = E$$

Burada ; A, B, C, D, E birer sabittir. Sürekli çalışma noktası (X_0, I_0) civarındaki $x_1(t)$, $i_1(t)$ küçük genlikli değişimler için söz konusu denklemi doğrusallaştırınız.

Çalışma noktası civarındaki değişimler için;

$$x(t) = \underbrace{X_0}_{\text{Kararlı çalışma noktası koordinatları}} + \underbrace{x_1(t)}_{\text{Küçük genlikli değişimler}} \quad \text{örneğin; } 3\text{m} + 3\text{mm}$$

$$i(t) = \underbrace{I_0}_{\text{Kararlı çalışma noktası koordinatları}} + \underbrace{i_1(t)}_{\text{Küçük genlikli değişimler}} \quad \text{örneğin; } 5\text{A} + 5\text{mA}$$

Kararlı çalışma noktası koordinatları

Küçük genlikli değişimler

$$\frac{1}{x} = \frac{1}{X_0 + x_1(t)} = \frac{1}{X_0} \cdot \frac{1}{1 + \frac{x_1}{X_0}} = \frac{1}{X_0} \left(1 - \frac{x_1}{X_0} + \frac{x_1^2}{X_0^2} - \dots \right) \approx \boxed{\frac{1}{X_0} \left(1 - \frac{x_1}{X_0} \right)}$$

→ gözardı edilecek kadar küçük $\frac{(mm)^2}{m^2}$

$$i^2 = (I_0 + i_1)^2 \approx \boxed{I_0^2 + 2I_0 i_1} + \cancel{i_1^2} \rightarrow \text{ihmal edilecek kadar küçük } (mA)^2 = 10^{-6}$$

* Biz 10^{-3} 'lü terimlerle ilgileniyoruz.

$$x \cdot i = (X_0 + x_1) \cdot (I_0 + i_1) \approx \boxed{X_0 I_0 + X_0 i_1 + X_1 I_0} + \cancel{x_1 i_1} \text{ ihmal}$$

$$x \cdot \frac{di}{dt} = (X_0 + x_1) \cdot \frac{d(I_0 + i_1)}{dt} = \underbrace{(X_0 + x_1) \cdot \frac{dI_0}{dt}}_{I_0 = sb \text{ old } = 0} + (X_0 + x_1) \cdot \frac{di_1}{dt}$$

$$= \boxed{X_0 \cdot \frac{di_1}{dt}} + \cancel{x_1 \cdot \frac{di_1}{dt}} \text{ ihmal}$$

Küçük genlikli değişkenlerin getirdiği farklılıklar yukarıdaki işlemler ile gözardı edilerek sistemin doğrusallaşması için; yani ifadeler denklemde yerine yazılırsa;

$$\frac{A}{X_0} \left(1 - \frac{x_1}{X_0} \right) + B(X_0 I_0 + X_0 i_1 + X_1 I_0) + C X_0 \frac{di_1}{dt} + D(I_0^2 + 2I_0 i_1) = E$$

Doğrusallık için değişken ifadeler alınmaz, sabit terimler alınır;

$$\frac{A}{X_0} + BX_0 I_0 + DI_0^2 = E$$

esitliği geçerlidir. Buna göre elektromekanik dönüştürücünün davranış denklemi (değişiklik olmaması için) bu çalışma noktası civarında aşağıdaki biçimde doğrusallaştırılmış olur;

$$-\frac{A}{X_0^2} X_1 + BX_0 \dot{i}_1 + BX_1 I_0 + CX_0 \frac{d\dot{i}_1}{dt} + 2DI_0 \dot{i}_1 = 0$$

$$\left(BI_0 - \frac{A}{X_0^2} \right) X_1 + (BX_0 + 2DI_0) \dot{i}_1 + CX_0 \frac{d\dot{i}_1}{dt} = 0$$

NOT:

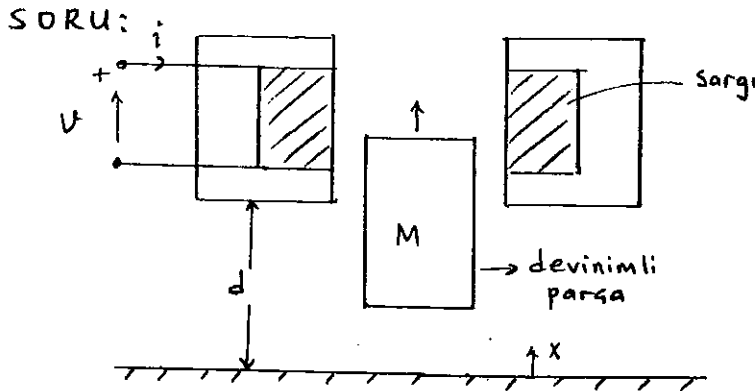
$$\frac{1}{1-x} = 1 + x + x^2 + \dots$$

$$\frac{1}{1+x} = 1 - x + x^2 - \dots$$

$$\cos x = 1 - \frac{x^2}{2!} + \frac{x^4}{4!} - \frac{x^6}{6!} + \dots$$

$$\sin x = x - \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} - \frac{x^7}{7!} + \dots$$

$$e^x = 1 + \frac{x}{1!} + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^3}{3!} + \dots$$



Şekilde gösterilen elektromagnetik akı ile akım arasında deneysel olarak aşağıdaki ifade bulunmuştur.

$$i = a\phi^2 + b.\phi.(x-d)^2$$

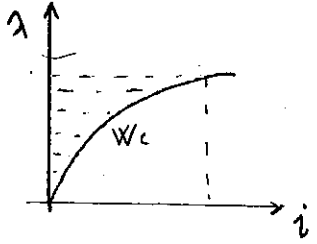
Burada a ve b değişmezleri göstermektedir. Devinimli kısma etki eden kuvveti bulunuz?

Püf Nokta!!!

* Bağımsız değişken akım ise Co-enerjiyi bul x'e göre türev al kuvveti bul.

* Bağımsız değişken akı ise enerjiyi bul x'e göre türev al kuvveti bul.

$i = a \cdot \phi^2 + b \cdot \phi \cdot (x-d)^2$ denkleminde akı bağımsız değişken olduğu için enerjiyi bulmalıyız.



$$W = \int_0^{\lambda} i \cdot d\lambda = \int_0^{N\phi} i N \cdot d\phi$$

$$W = \int_0^{N\phi} [a \cdot \phi^2 + b \cdot \phi \cdot (x-d)^2] \cdot N \cdot d\phi$$

$$= N \cdot \left[a \cdot \frac{\phi^3}{3} + b \cdot (x-d)^2 \cdot \frac{\phi^2}{2} \right]_0^{N\phi}$$

$$= N \cdot \left[a \cdot \frac{N^3 \phi^3}{3} + b \cdot (x-d)^2 \cdot \frac{N^2 \phi^2}{2} \right]$$

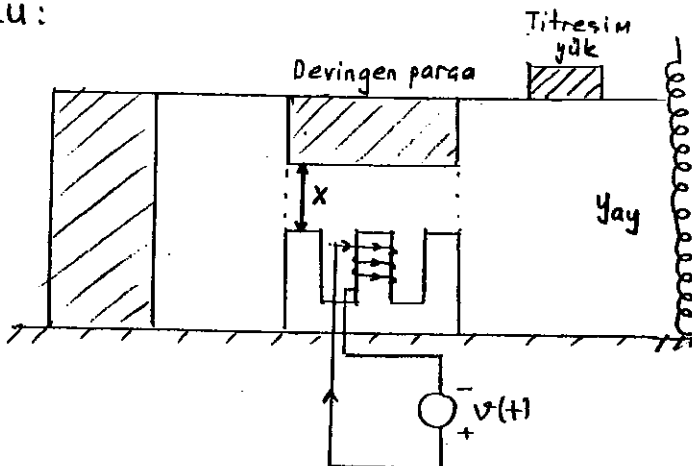
Kuvvet ifadesi $F_e = - \frac{\partial W}{\partial x}$

$$F_e = - \frac{\partial}{\partial x} N \cdot \left[a \frac{N^3 \phi^3}{3} + b \cdot (x-d)^2 \cdot \frac{N^2 \phi^2}{2} \right]$$

$$= - \frac{\partial}{\partial x} \frac{N^3 \phi^2}{2} \cdot b \cdot (x-d)^2 = -N^3 \phi^2 \cdot b \cdot (x-d)$$

$$F_e = - N^3 \phi^2 \cdot b \cdot (x-d)$$

SORU:



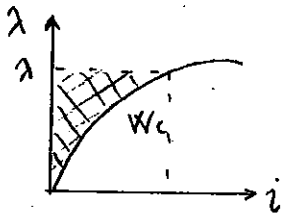
Bir titreşim makinası şekilde gösterilen yapıdadır. Makinanın elektromagneti karşıda bulunan devingen parçayı çekmekte, yay buna engel olmaya çalışmaktadır. Bunun sonucunda yük titreşim yapabilmektedir. Elektromagnetik sargının endüktansı

$$L = \frac{1}{C_1 \lambda^2 + C_2 X} \text{ H olarak değişmektedir. Burada } C_1, C_2 \text{ değişmezler}$$

λ sargının toplam akısı, X değişim mesafesidir. Kuvvet ifadesini bulunuz.

Sargı endüktansı $L = \frac{1}{C_1 \lambda^2 + C_2 X}$ H olarak verildiğine göre oluşak toplam akıyı hesaplayalım.

$$\lambda = L \cdot i \Rightarrow \lambda = \frac{i}{C_1 \lambda^2 + C_2 X} \text{ veya } i = C_1 \lambda^3 + C_2 \lambda \cdot X$$



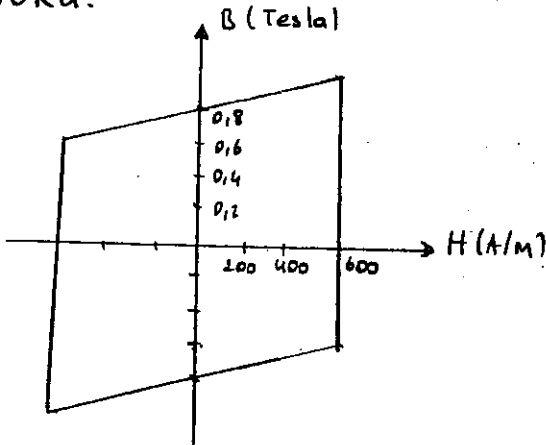
Bu ifadeden akı bağımsız değişken olduğundan öncelikle enerjiyi sonra X 'e göre türev alarak kuvveti bulabiliriz.

$$W = \int_0^\lambda i \cdot d\lambda = \int_0^\lambda (C_1 \lambda^3 + C_2 \lambda \cdot X) \cdot d\lambda = C_1 \frac{\lambda^4}{4} + C_2 \frac{\lambda^2}{2} X$$

$$F_e = - \frac{\partial W}{\partial X} = - \frac{\partial}{\partial X} \left(C_1 \frac{\lambda^4}{4} + C_2 X \frac{\lambda^2}{2} \right) = - \frac{C_2 \lambda^2}{2}$$

$$F_e = - \frac{C_2 \lambda^2}{2}$$

SORU:



B-H çevrimi şekilde verilen malzemenin 100 cm^3 'ünün 50 Hz 'deki histeresiz kayıplarını hesaplayınız.

$$\text{Toplam Alan} = 1,6 \times 1200 = 1920$$

$$T \cdot \frac{A}{m} = \frac{Wb}{m^2} \cdot \frac{A}{m} = \frac{V \cdot A \cdot s}{m^3}$$

$$J = V \cdot A \cdot s : \text{enerji}$$

$$P_h = B \cdot H \cdot V \cdot f$$

$$P_h = 1920 \cdot 100 \cdot 10^{-6} \cdot 50 = 9,6 \text{ W}$$

SORU: 1 m uzunluğundaki bir iletken tel, zamana göre değişen $B(t) = 4 \cdot e^{-1,5t}$ Tesla olan bir manyetik alana diktir. İletken içinden $i(t) = 50 \cdot (1 - e^{-t})$ Amper'lik bir akım aktmaktadır.

- a) İletkene etkiyen kuvvetin zamana bağlı ifadesini bulunuz.
 b) Bu kuvvetin aldığı maksimum değer nedir?
 c) İletkene etki eden kuvvetin $t=0$ ile $t=4$ sn arasındaki değişim grafiğini çiziniz.
 d) Bu kuvvetin $t=0$ ile $t=4$ sn arasındaki ortalama değerini hesaplayınız.

$$a) F = B \cdot i \cdot l = 4 \cdot e^{-1,5t} \cdot 50 \cdot (1 - e^{-t}) \cdot 1$$

$$F = 200 \cdot (e^{-1,5t} - e^{-2,5t}) \text{ N.}$$

b) Burada F 'in ifadesi sinüsoidal olsaydı genlik $\sqrt{2}$ 'ye bölünerek F_{max} bulunabilirdi. Ancak ifade üstel olduğundan F_{max} için $\frac{dF}{dt} = 0$ olmalıdır.

$$\frac{dF}{dt} = 200 \cdot (-1,5 \cdot e^{-1,5t} + 2,5 \cdot e^{-2,5t}) = 0$$

$$1,5 \cdot e^{-1,5t} = 2,5 \cdot e^{-2,5t}$$

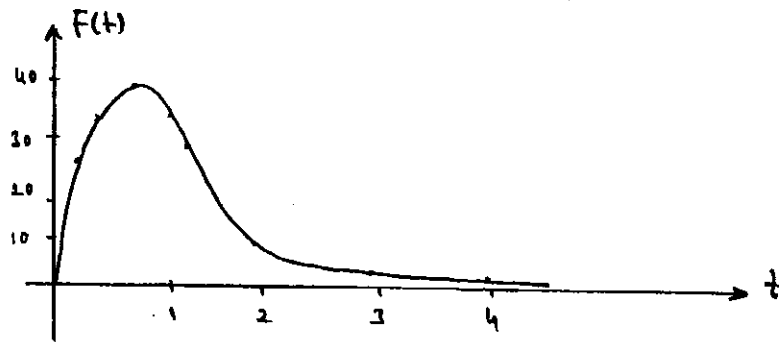
$$\ln\left(\frac{1,5}{2,5}\right) = \ln e^{-t} \Rightarrow t = 0,51083 \text{ sn.}$$

$$F(t) = 200 \cdot (e^{-1,5t} - e^{-2,5t})$$

$$F(0,51083) = 200 \cdot (e^{-1,5 \cdot 0,51083} - e^{-2,5 \cdot 0,51083}) = 37,18 \text{ N} = F_{max.}$$

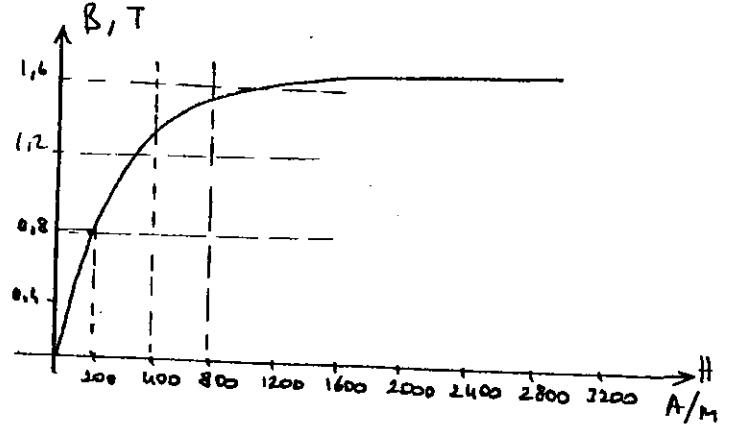
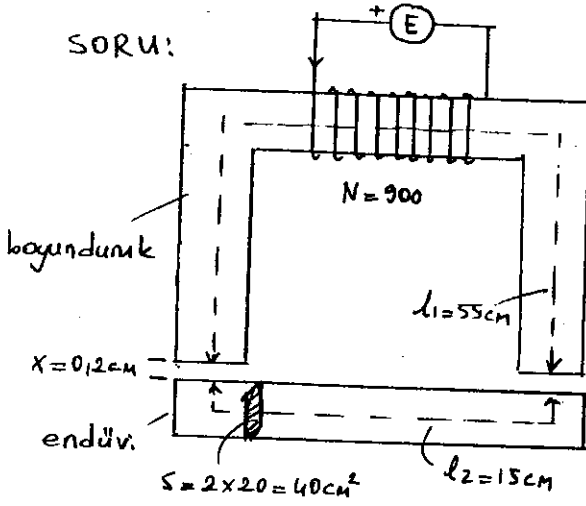
c)

t	F(t)
0	0
0,2	26,857
0,4	36,186
0,6	36,688
0,8	33,172
1	28,209
2	3,609
3	2,111
4	0,437



$$d) F_{ort} = \frac{1}{T} \int_0^T F(t) \cdot dt = \frac{1}{4} \int_0^4 200 \cdot (e^{-1,5t} - e^{-2,5t}) dt$$

$$F_{ort} = 13,252 \text{ N.}$$



Şekilde bir elektromıknatıs ve kaldırdığı endüvi parçası verilmiştir. Elektromıknatısın uyartım sargısı $N = 900$ sarımlı ve iletken direnci $R = 13,8 \Omega$ 'dur. Boyunduruk ve endüvinin yapıldığı yumuşak magnetik malzemenin $B-H$ eğrisi şekilde verilmiştir. Boyutlara ilişkin bilgilerde şekilde yer almaktadır. Kacık akı ve hava aralığındaki akı saptmaları yok varsayılacaktır. Buna göre endüvinin 981 N 'luk kuvvetle çekildiği sırada E gerilimi ne olacaktır?

$$F = \frac{B^2}{2\mu_0} \cdot A \Rightarrow B = \sqrt{\frac{2F \cdot \mu_0}{A}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 981 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7}}{2 \cdot 40 \cdot 10^{-4}}} = 0,555 \text{ T}$$

Ampère Yasasından

$$F = N \cdot I = H \cdot l = H_h \cdot (x+x) + H_m \cdot (l_1 + l_2)$$

Eğriyi $0 \leq H \leq 200$ arasında doğru kabul edersek, $B_m \approx \frac{0,8}{200} \cdot H_m$ olur ve $H = 250 \text{ A/m}$ olur. O halde $B = 0,555$ için $H_m \approx 133,75 \text{ A/m}$ olur.

$$B_h = \mu_0 \cdot H_h \Rightarrow H_h = \frac{B_h}{\mu_0}$$

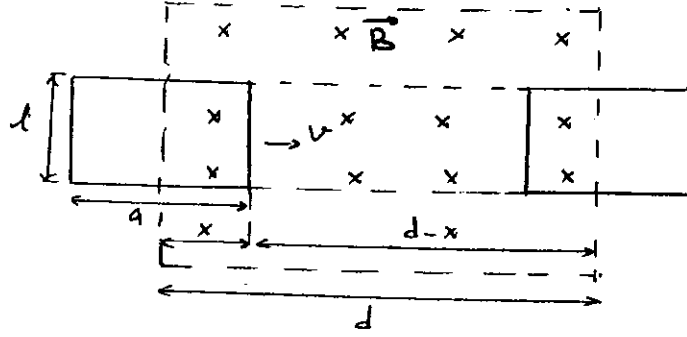
$$N \cdot I = \frac{B_h}{\mu_0} \cdot l_h + H_m \cdot l_m = \frac{0,555}{4\pi \cdot 10^{-7}} \cdot 2 \cdot 0,2 \cdot 10^{-2} + 133,75 \cdot (55 + 15) \cdot 10^{-2}$$

$$N I = 1766,62 + 97,125 = 1863,745 \text{ A.sarım}$$

$$I = \frac{1863,745}{900} = 2,07 \text{ A}$$

$$R = 13,8 \Omega \text{ ise } E = I \cdot R = 2,07 \cdot 13,8 = 28,566 \text{ V.}$$

SORU:



Şekilde dikdörtgen biçimli iletken tel verilmiştir. İletkenin direnci $1\text{ }\Omega$, genişliği l , uzunluğu a 'dır. v sabit hızında, içinde düzgün B alanı oluşturulmuş d boyundaki bir alana hareket etmektedir. Buna göre,

a) Kapalı iletkende oluşan akıyı iletken konumu x 'in bir işlevi olarak bulunuz. $\Phi(x) = ?$

b) Endüklenen gerilimi x 'e göre bulunuz ve grafiğini çiziniz.

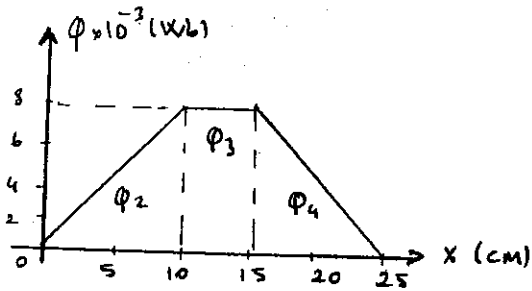
c) İletkende oluşan ısı enerjisini x 'e göre çiziniz.

① İletken alan içinde değilken; $\Phi(x) = 0$

② İletken alan içine girerken; $\Phi = B \cdot A$ olduğundan $\Phi(x) = B \cdot l \cdot x$

③ İletkenin tamamı alan içindeyken; $\Phi = B \cdot l \cdot a$

④ İletken alan içinden çıkarken; $\Phi(x) = B \cdot l \cdot (a - (x - d))$



$$x < 0 \text{ iken } \Phi_1 = 0$$

$$0 < x < 10 \text{ iken } \Phi_2(x) = B \cdot l \cdot x$$

$$x = 10 \text{ için } \Phi_2 = 2.4 \cdot 10^{-2} \cdot 10 \cdot 10^{-2} = 8 \cdot 10^{-3} \text{ Wb}$$

$$10 < x < 15 \text{ iken } \Phi_3 = B \cdot l \cdot a = 8 \cdot 10^{-3} \text{ Wb}$$

$$15 < x < 25 \text{ iken } \Phi_4(x) = B \cdot l \cdot (a - (x - d))$$

$$x = 25 \text{ için } \Phi_4 = 2.4 \cdot 10^{-2} (10 - (25 - 15)) = 0$$

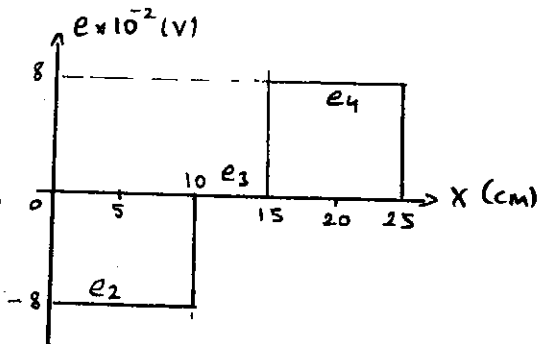
$$N = l \text{ old. göre } e = - \frac{d\Phi}{dt} = - \frac{d\Phi}{dx} \left(\frac{dx}{dt} \right) v$$

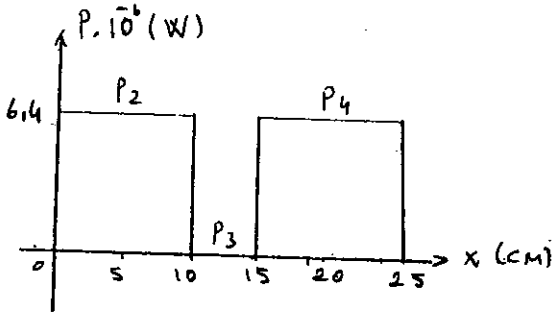
$$e_1 = 0$$

$$e_2 = - B l \cdot v = - 2.4 \cdot 10^{-2} \cdot 1 = - 8 \cdot 10^{-2} \text{ V}$$

$$e_3 = 0$$

$$e_4 = + B l \cdot v = 2.4 \cdot 10^{-2} \cdot 1 = 8 \cdot 10^{-2} \text{ V}$$





$$P = \frac{e^2}{R} \text{ olduğuna göre,}$$

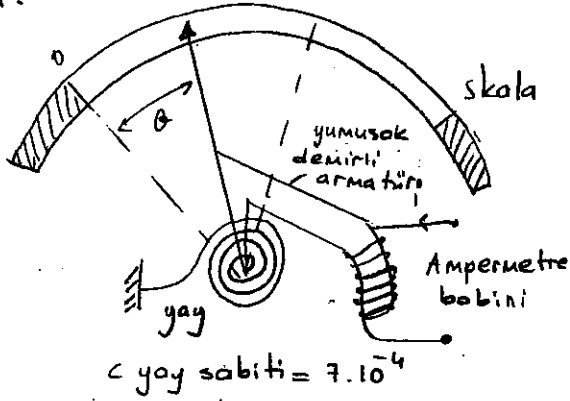
$$P_1 = 0$$

$$P_2 = \frac{(-8 \cdot 10^{-2})^2}{1000} = 64 \cdot 10^{-6} \text{ W}$$

$$P_3 = 0$$

$$P_4 = \frac{(8 \cdot 10^{-2})^2}{1000} = 64 \cdot 10^{-6} \text{ W}$$

SORU:



Ampermetreden, $i = 10 \text{ A}$,
 $f = 50 \text{ Hz}$ 'lik sinüzoidal bir
akım geçirildiğinde; bobin
direnci $0,02 \Omega$ olduğuna göre
bobin uçlarındaki gerilimi
bulunuz. $L = (5 + 20\theta) \cdot 10^{-6} \text{ H}$
olarak veriliyor.

$$M = \frac{i^2}{2} \frac{dL}{d\theta} = \frac{i^2}{2} 20 \cdot 10^{-6} \Rightarrow M = i^2 \cdot 10^{-5} \text{ H}$$

$$i = 10 \text{ A için, } M = 10^2 \cdot 10^{-5} = 10^{-3} \text{ N.m}$$

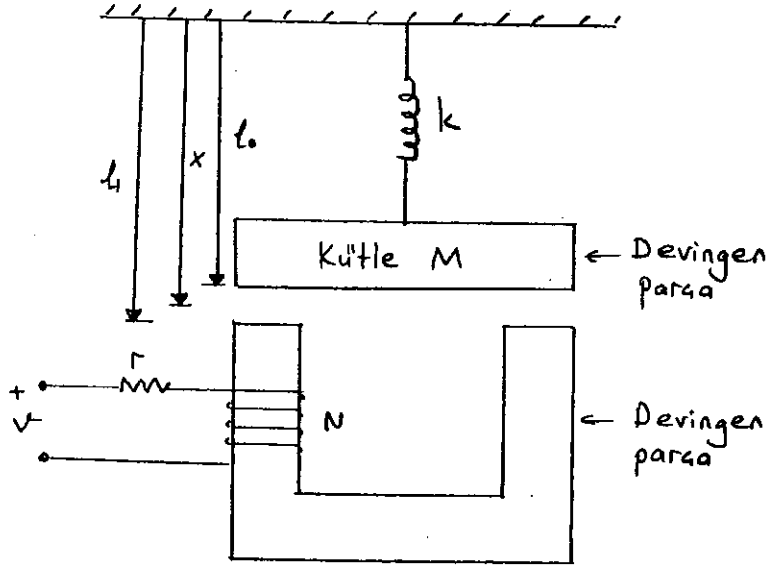
$$M = c \cdot \theta \Rightarrow \theta = \frac{M}{c} = \frac{10^{-3}}{7 \cdot 10^{-4}} = 1,429 \text{ rad.}$$

$i = 10 \text{ A}$ için sapma açısı $\theta = 1,429 \text{ rad}$ oluyorsa bu durumda
bobinin endüktansı $L(\theta) = (5 + 20\theta) \cdot 10^{-6}$
 $= (5 + 20 \cdot 1,429) \cdot 10^{-6} \Rightarrow L = 33,58 \mu\text{H}$ olur.

$$\begin{aligned} \text{Bobinin empedansı: } Z_B &= \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2} \\ &= \sqrt{0,02^2 + (2\pi \cdot 50 \cdot 33,58 \cdot 10^{-6})^2} \\ &= 22,61 \times 10^{-3} \Omega \end{aligned}$$

$$V = I \cdot Z_B = 10 \cdot 22,61 \cdot 10^{-3} = 0,2261 \text{ Volt.}$$

SORU:



Şekildeki aygıt yalnızca düzey doğrultuda devrim yapabilmektedir. Magnetik malzemenin bağıl magnetik geçirgenliği sonsuz büyüktür. Akı sızmaları ve kaçak akılar göz ardı edilebilecek kadar küçüktür. Yay kuvveti, yayın uzaması ile doğru orantılıdır. Kesit her yerde A dır.

a) Elektromekanik sistemin elektriksel ve mekanik yanlarına ilişkin denklemleri yazınız.

b) Elektriksel ve mekanik yanlara ilişkin denklemlerinin doğrusallığını bozan terimi (veya terimleri) belirtiniz.

c) Sürekli durumda, kararlı bir çalışma noktası bularak, bu nokta civarındaki küçük genlikli değişimler için bu denklemleri doğrusallaştırınız.

a) Elektriksel kısma ilişkin denklem:

$$V = r \cdot i + e \quad , \quad e = \frac{d\lambda}{dt} = \frac{dL i}{dt}$$

$$= r \cdot i + \frac{dL i}{dt}$$

$$= r \cdot i + L \cdot \frac{di}{dt} + i \cdot \frac{dL}{dt} = r \cdot i + L \cdot \frac{di}{dt} + i \cdot \frac{dL}{dx} \cdot \frac{dx}{dt}$$

$$V = L \cdot \frac{di}{dt} + i \cdot \frac{dL}{dx} \cdot \dot{x} + r \cdot i$$

Mekanik kısma ilişkin denklem:

$$M \cdot \frac{d^2 x}{dt^2} + B \cdot \frac{dx}{dt} + k \cdot x = F_e$$

$$M \cdot \ddot{x} + k \cdot (x - l_0) - mg = F_e = \frac{i^2}{2} \frac{dL}{dx}$$

b) Elektriksel kısma ilişkin denklemde doğrusallığı bozan terimler:

Mekanik kısma ilişkin denklemde doğrusallığı bozan terimler:

$$c) R = \frac{l_1 - x}{\mu_0 \cdot A} \quad R_{eq} = 2R$$

$$L = \frac{N^2}{R_{eq}} = \frac{N^2}{2 \cdot \left(\frac{l_1 - x}{\mu_0 A} \right)} = \frac{\mu_0 \cdot A \cdot N^2}{2 \cdot (l_1 - x)}$$

Devrim denklemine yeniden yazalım:

$$L \cdot \frac{di}{dt} + i \cdot \frac{dL}{dx} \cdot \dot{x} + ri = v$$

$$M \cdot \ddot{x} + k \cdot (x - l_0) - mg = \frac{\mu_0 \cdot A \cdot N^2 \cdot i^2}{4 \cdot (l_1 - x)^2}$$

$$v(t) = v_0 + v_1(t)$$

$$i(t) = I_0 + i_1(t)$$

$$x(t) = x_0 + x_1(t)$$

(v, i, x) orjinal değişkenler, (v_1, i_1, x_1) ise (v_0, I_0, x_0) noktası etrafındaki değişimlerdir.

Doğrusal olmayan terimleri inceleyelim.

$$L = \frac{\mu_0 \cdot A \cdot N^2}{2 \cdot (l_1 - x)} = \frac{\mu_0 \cdot A \cdot N^2}{2 \cdot (l_1 - x_0 - x_1)} = \frac{\mu_0 \cdot A \cdot N^2}{2 \cdot ((l_1 - x_0) - x_1)}$$

$$= \frac{\mu_0 \cdot A \cdot N^2}{2 \cdot (l_1 - x_0) \left(1 - \frac{x_1}{l_1 - x_0} \right)} = \frac{\mu_0 \cdot A \cdot N^2}{2 \cdot (l_1 - x_0)} \cdot \frac{1}{1 - \frac{x_1}{l_1 - x_0}}$$

L_0 dersek

$$L = L_0 \cdot \frac{1}{1 - \frac{x_1}{l_1 - x_0}} \text{ olur.}$$

Binom açılımıyla $\frac{1}{1-x} = 1 + x + x^2 + x^3 + \dots$ L'yi düzenlersek,

$$L = L_0 \cdot \left(1 + \frac{x_1}{t_1 - x_0} + \underbrace{\left(\frac{x_1}{t_1 - x_0} \right)^2 + \left(\frac{x_1}{t_1 - x_0} \right)^3 + \dots}_{\text{gözardı edilir.}} \right)$$

Diğer taraftan,

$$\begin{aligned} \frac{dL}{dx} &= \frac{d}{dx} \left(L_0 + \frac{L_0 x_1}{t_1 - x_0} + \frac{L_0 x_1^2}{(t_1 - x_0)^2} + \frac{L_0 x_1^3}{(t_1 - x_0)^3} + \dots \right) \\ &= \frac{L_0}{t_1 - x_0} + \frac{2 L_0 x_1}{(t_1 - x_0)^2} + \underbrace{\frac{3 L_0 x_1^2}{(t_1 - x_0)^3} + \dots}_{\text{gözardı edilir.}} \end{aligned}$$

Bu iki denklemden,

$$L \approx L_0 \cdot \left(1 + \frac{x_1}{t_1 - x_0} \right)$$

$$\frac{dL}{dx} \approx \frac{L_0}{t_1 - x_0} \left(1 + \frac{2x_1}{t_1 - x_0} \right) \text{ olur.}$$

$$V = r \cdot i + e = r i + \frac{d\lambda}{dt} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \lambda &= L \cdot i = L_0 \cdot \left(1 + \frac{x_1}{t_1 - x_0} \right) \cdot (I_0 + i_1) \\ &= L_0 \cdot I_0 + L_0 \cdot i_1 + \frac{L_0 I_0}{t_1 - x_0} \cdot x_1 + \underbrace{\frac{L_0 i_1}{t_1 - x_0} \cdot x_1}_{x_1 \cdot i_1 \text{ gözardı edilir.}} \end{aligned}$$

$$\frac{d\lambda}{dt} = L_0 \cdot \frac{di_1}{dt} + \frac{L_0 I_0}{t_1 - x_0} \cdot \dot{x}_1 \text{ olur. (2)}$$

$$r i = r \cdot (I_0 + i_1) = r \cdot I_0 + r \cdot i_1 \text{ olur. (3)}$$

(2) ve (3) denklemlerini (1) 'de yerine yazalım.

$$r I_0 + r \cdot i_1 + L_0 \frac{di_1}{dt} + \frac{L_0 I_0}{t_1 - x_0} \cdot \dot{x}_1 = V_0 + V_1$$

Sürekli durumda çalışma noktası $r \cdot I_0 = V_0$ 'dir.

Elektriksel denklemin doğrusallaşmış biçimi:

$$V_1 = r \cdot i_1 + L_0 \cdot \frac{di_1}{dt} + \frac{L_0 I_0}{t_1 - x_0} \cdot \dot{x}_1$$

Mekanik denklemin sağ tarafındaki $F_e = \frac{\dot{z}^2}{2} \frac{dL}{dx}$ 'i doğrusallaştıralım:

$$\begin{aligned}
 F_e &= \frac{1}{2} (I_0 + \dot{z}_1)^2 \frac{L_0}{l_1 - x_0} \left(1 + \frac{2x_1}{l_1 - x_0} \right) \\
 &= \frac{1}{2} (I_0^2 + 2I_0 \dot{z}_1 + \cancel{\dot{z}_1^2}) \cdot \frac{L_0}{l_1 - x_0} \left(1 + \frac{2x_1}{l_1 - x_0} \right) \\
 &\quad \text{ihmal edilir.} \\
 &= \frac{L_0 I_0^2}{2 \cdot (l_1 - x_0)} + \frac{L_0 I_0^2 \cdot x_1}{(l_1 - x_0)^2} + \frac{L_0 I_0 \dot{z}_1}{l_1 - x_0} + \frac{2 \cdot L_0 \cdot I_0 \cdot x_1 \cdot \dot{z}_1}{l_1 - x_0} \\
 &\quad \text{ihmal } (x_1 \cdot \dot{z}_1) \text{ edilir}
 \end{aligned}$$

$$M \ddot{X} + k \cdot (x_0 + x_1 - l_0) - mg = \frac{L_0 I_0^2}{2(l_1 - x_0)} + \frac{L_0 I_0^2 \cdot x_1}{(l_1 - x_0)^2} + \frac{L_0 I_0 \dot{z}_1}{l_1 - x_0}$$

$$M \cdot \frac{d^2}{dt^2} (\overset{sb.}{x_0} + x_1) + k \cdot x_1 + k \cdot (x_0 - l_0) - mg = \frac{L_0 I_0^2}{2(l_1 - x_0)} + \frac{L_0 I_0^2 \cdot x_1}{(l_1 - x_0)^2} + \frac{L_0 I_0 \dot{z}_1}{l_1 - x_0}$$

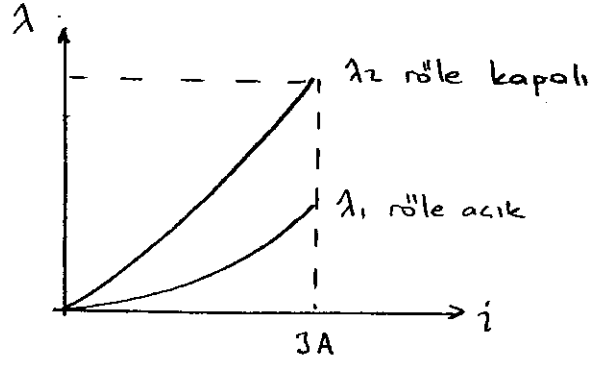
Sürekli durumda çalışma noktası;

$$k(x_0 - l_0) - mg = \frac{L_0 I_0^2}{2 \cdot (l_1 - x_0)} \text{ ile verilmistir.}$$

0 halde mekanik denklemin doğrusallaştırılmış biçimi;

$$M \cdot \ddot{X}_1 + k X_1 = \frac{L_0 I_0}{l_1 - x_0} \dot{z}_1 + \frac{L_0 I_0^2}{(l_1 - x_0)^2} \cdot x_1$$

SORU:



Bir rölenin açık durum için mıknatıslanma eğrisi $\lambda_1 = 400i^2$ ve kapalı durum için mıknatıslanma eğrisi $\lambda_2 = 625i^2$ 'dir. Sürekli durumda sarğı akımı 3A'dır.

a) Röle açıkken, sürekli durumda, magnetik sistemde depo edilen enerjiyi bulunuz.

i) Rölenin devingen parçasının, akımı sabit tutacak kadar hızlı devinerek kapandığını varsayalım. Bu durumda:

b) Sürekli durumda, sistemde depo edilen enerjiyi bulunuz.

c) Devinin sırasında, gerilim kaynağından çekilen enerjiyi bulunuz.

d) Devinin sırasında rölenin yaptığı işi bulunuz.

ii) Şimdi de, devingen parçanın gerilim kaynağından çekilen akım sabit kalacak şekilde yavaş yavaş devindiğini düşünelim. Bu durumda:

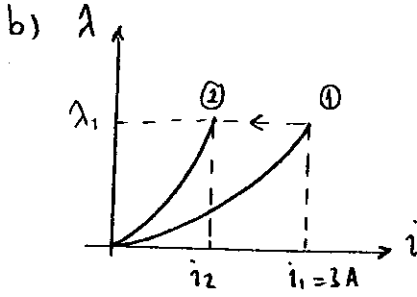
e) Sürekli durumda, sistemde depo edilen enerjiyi bulunuz.

f) Devinin sırasında, gerilim kaynağından çekilen elektrik enerjisini bulunuz.

g) Devinin sırasında rölenin yaptığı işi bulunuz.

$$a) W_c = \int_0^i \lambda \cdot di = \int_0^i 400i^2 di = \frac{400}{3} i^3$$

$$W = i \cdot \lambda - W_c = 400i^3 - \frac{400}{3} i^3 = \frac{800}{3} i^3 = 7200 \text{ J}$$



$$\lambda_1 = 400 \cdot i_1^2 = 625 \cdot i_1^2$$

$$3600 = 625 \cdot i_2^2$$

$$i_2 = 2,4$$

$$W_c = \int_0^{i_2} \lambda_2 \cdot di = \int_0^{i_2} 625 \cdot i^2 \cdot di = \frac{625}{3} \cdot i_2^3$$

$$W = \lambda_1 \cdot i_2 - W_c$$

$$= 400 \cdot i_2^2 \cdot i_2 - \frac{625}{3} i_2^3$$

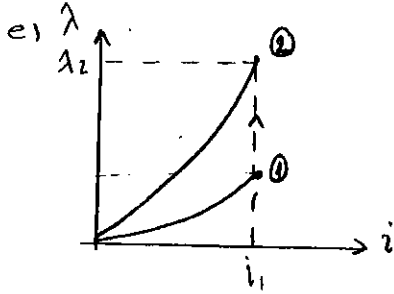
$$= 3600 \cdot i_2 - \frac{625}{3} i_2^3$$

$$W = 3600 \cdot 2,4 - \frac{625}{3} \cdot 2,4^3$$

$$W' = 5760 \text{ J.}$$

c) İlk durumda depo edilen enerji 7200 J 'dür. Bu enerjinin 5760 J ' ündü devinim için harcamıştır. Gerilim kaynağında enerji sekilmemistir.

$$d) \Delta W = W' - W = 5760 - 7200 = -1440 \text{ J ' luk bir is yapilmıştır.}$$



$$W_c = \int_0^{i_1} \lambda_2 \cdot di = \int_0^{i_1} 625 i^2 \cdot di = \frac{625}{3} i_1^3$$

$$W = \lambda_2 \cdot i_1 - W_c$$

$$= 625 \cdot i_1^2 \cdot i_1 - \frac{625}{3} i_1^3$$

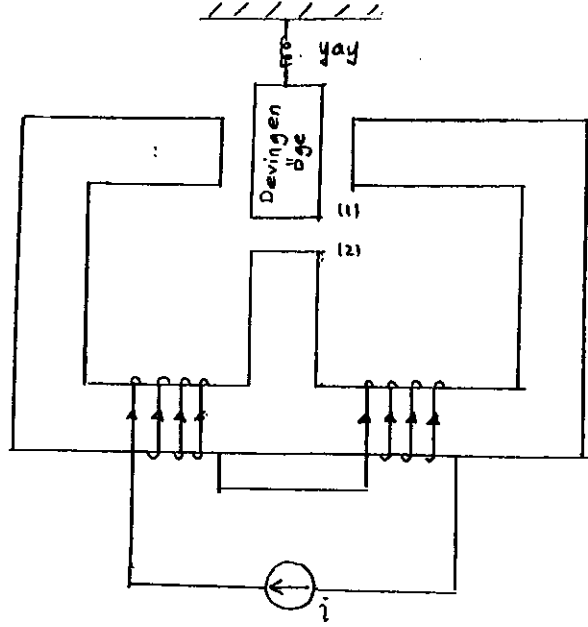
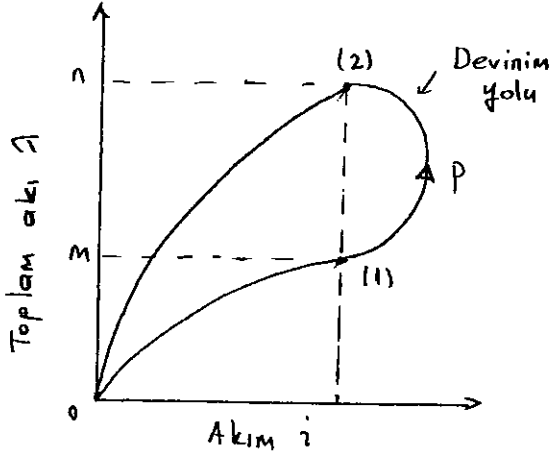
$$= \frac{4250}{3} i_1^3 = \frac{1250}{3} \cdot i_1^3$$

$$W' = 11250 \text{ J.}$$

$$f) W_e = 11250 - 7200 = 4050 \text{ J enerji kaynaktan sekilmistir.}$$

$$g) \Delta W = W' - W = 11250 - 7200 = 4050 \text{ J ' luk bir is yapilmıştır.}$$

SORU:



0-1 eğrisi $\lambda_1 = 0,2i^2$ ve 0-2 eğrisi ise $\lambda_2 = 0,4i^2$ ile belirlenmektedirler. (1) ve (2) noktalarında $i = 5 \text{ A}$ 'dir. 1-p-2 eğrisinin denklemi $(i-5)^2 + (\lambda-8)^2 = 9$ 'dur. (1) ve (2) konumları arasındaki uzaklık 1 mm 'dir.

a) Röle açık iken, sürekli durumda depo edilen magnetik enerjiyi bulunuz.

b) Röle kapalı iken, sürekli durumda depo edilen magnetik enerjiyi bulunuz.

c) Devrim sırasında, kaynaktan çekilen enerjiyi bulunuz.

d) Devingen parçanın yaptığı işi bulunuz.

e) Devingen parçaya etkileyen ortalama kuvveti bulunuz.

a) $\lambda_1 = 0,2i^2$

$$W_c = \int_0^i \lambda di = \int_0^i 0,2i^2 di = \frac{0,2}{3} i^3 \Big|_0^i = \frac{0,2}{3} i^3$$

$$W = i \cdot \lambda - W_c = 0,2i^3 - \frac{0,2}{3} i^3 = \frac{0,4}{3} i^3$$

$$W = \frac{0,4}{3} \cdot 5^3 = 16,67 \text{ J.}$$

$$b) \lambda_2 = 0,44 \cdot i^2$$

$$W_c = \int_0^i \lambda \cdot di = \int_0^i 0,44 \cdot i^2 \cdot di = \frac{0,44}{3} \cdot i^3 \Big|_0^i = \frac{0,44}{3} \cdot i^3$$

$$W = i \cdot \lambda - W_c = 0,44 \cdot i^3 - \frac{0,44}{3} i^3 = \frac{0,88}{3} i^3$$

$$W = \frac{0,88}{3} \cdot 5^3 = 36,67 \text{ J.}$$

$$c) i = 5 \text{ A}$$

$$m = 0,2 \cdot 5^2 = 5$$

$$n = 0,44 \cdot 5^2 = 11$$

$$(i-5)^2 + (\lambda-8)^2 = 9 \Rightarrow r=3$$

Kaynaktan çekilen enerji:

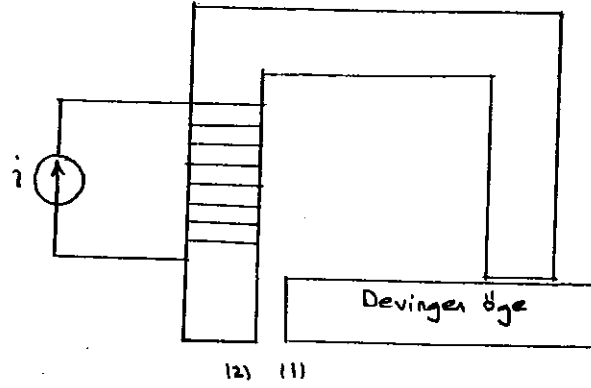
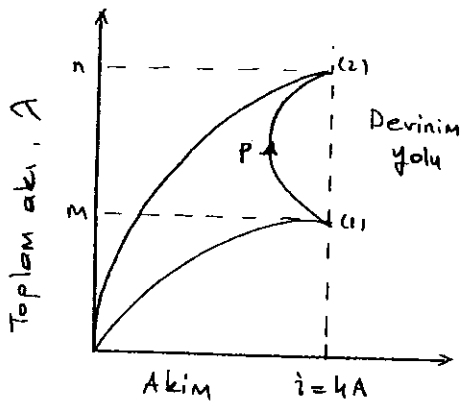
$$W = (n-m) \cdot i + \frac{\pi r^2}{2} = 6 \cdot 5 + \frac{\pi \cdot 9}{2} = 44,137 \text{ J.}$$

$$d) \Delta W = W_2 - W_1 = 36,67 - 16,67 = 20 \text{ J}$$

$$e) W = Fe \cdot x$$

$$Fe = \frac{W}{x} = \frac{W}{P} = \frac{44,137}{\pi \cdot 3} = 4,683 \text{ N.}$$

SORU!



0-1 eğrisi $\lambda_1 = \sqrt{i}$ ve 0-2 eğrisi $\lambda_2 = 2\sqrt{i}$ ile belirtilmektedir. (1) ve (2) noktalarında $i = 4A$ 'dir. 1-p-2 denkleminin eğrisi ise $(i - 5)^2 + (\lambda - 3)^2 = 2$ 'dir. Röle (1) konumundan (2) konumuna devinmektedir.

a) Röle açık iken yani (1) konumunda iken, magnetik sistemde deposedilen enerjiyi hesaplayınız.

b) Röle kapalı iken yani (2) konumunda iken, magnetik sistemde deposedilen enerjiyi hesaplayınız.

c) Devinim sırasında, akım kaynağından çekilen elektrik enerjisini bulunuz.

d) Devinim sırasında, rölenin yaptığı işi hesaplayınız.

$$a) \lambda_1 = \sqrt{i}$$

$$W_c = \int_0^i \lambda \cdot di = \int_0^i i^{1/2} \cdot di = \frac{i^{-1/2}}{-1/2} \Big|_0^i = -\frac{2}{\sqrt{i}}$$

$$W = i \cdot \lambda - W_c = i \cdot \sqrt{i} + \frac{2}{\sqrt{i}} = 4 \cdot 2 + \frac{2}{2} = 9 \text{ J.}$$

$$b) \lambda_2 = 2\sqrt{i}$$

$$W_c = \int_0^i \lambda \cdot di = \int_0^i 2 \cdot i^{1/2} \cdot di = 2 \cdot \frac{i^{-1/2}}{-1/2} \Big|_0^i = -\frac{4}{\sqrt{i}}$$

$$W = i \cdot \lambda - W_c = i \cdot 2\sqrt{i} + \frac{4}{\sqrt{i}} = 8 \cdot 2 + \frac{4}{2} = 18 \text{ J.}$$

$$c) i = 4A.$$

$$m = \sqrt{4} = 2$$

$$n = 2\sqrt{4} = 4$$

$$(i-5)^2 + (\lambda-3)^2 = 2 \Rightarrow r = \sqrt{2}$$

Kaynaktan çekilen enerji:

$$W = (n-m) \cdot i - \frac{\lambda r^2}{2} = (4-2) \cdot 4 - \frac{\lambda}{2} = 4,858 \text{ J.}$$

$$d) \Delta W = W_2 - W_1 = 18 - 9 = 9 \text{ J.}$$

SORU: Bir elektromagnetik röle düzeneğinin magnetik direnci x e bağlı olarak aşağıda verilmiştir.

$$R(x) = 9 \times 10^8 \cdot (0,003 + x) \text{ A/Wb.}$$

Sargının sarın sayısı 1620 ve direnci 55Ω 'dur. Sargı distan 110V 'luk bir DA gerilim kaynağından beslenmektedir.

a) Röle kontağı açık iken (yani $x = 0,006 \text{ m}$ iken) biriken magnetik enerjiyi bulunuz.

b) Röle kapalı iken (yani $x = 0,001 \text{ m}$ iken) magnetik alanda biriken enerjiyi bulunuz.

c) Röle yavaşca $x = 0,006 \text{ m}$ den $x = 0,001 \text{ m}$ getirilirse yapılan işi bulunuz.

d) Röle hızlıca $x = 0,006 \text{ m}$ den $x = 0,001 \text{ m}$ getirilirse yapılan işi bulunuz.

e) (d) sıkkındaki sabuk kapamayı izleyen elektriksel geçici durumdaki sargı akımının değişimini elde ediniz.

$$\lambda = N \cdot \phi = \frac{N^2 I}{k}$$

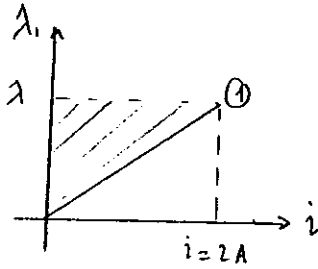
$$I = \frac{V}{R} = \frac{110}{55} = 2 \text{ A}$$

$$\lambda = \frac{1620^2 \cdot 2}{9 \cdot 10^8 (0,003 + x)} = \frac{5,832 \cdot 10^{-3}}{0,003 + x}$$

a) Röle açık iken;

$$x = 0,006 \text{ m} \quad \text{ise}$$

$$\lambda = \frac{5,832 \cdot 10^{-3}}{0,009} = 0,648 \text{ Wb}$$

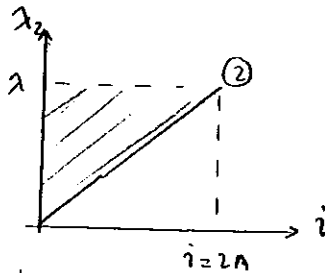


$$W = \frac{\lambda \cdot i}{2} = 0,648 \text{ J}$$

b) Röle kapalı iken;

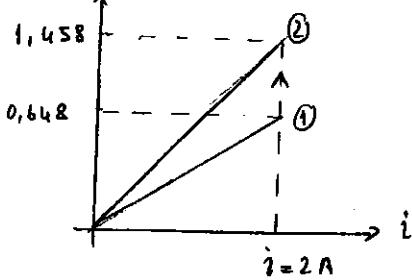
$$x = 0,001 \text{ m} \quad \text{ise}$$

$$\lambda = \frac{5,832 \cdot 10^{-3}}{0,004} = 1,458 \text{ Wb}$$



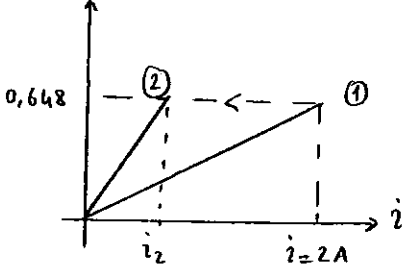
$$W = \frac{\lambda \cdot i}{2} = 1,458 \text{ J}$$

c) λ



$$\Delta W = (1,458 - 0,648) = 0,81 \text{ J}$$

d) λ



(2) durumunda;

$$\frac{1620^2 \cdot i_2}{2 \cdot 10^8 \cdot 0,004} = 0,648$$

$$i_2 = 0,89 \text{ A}$$

$$W_2 = \frac{0,648 \cdot 0,89}{2} = 0,288 \text{ J}$$

$$\Delta W = W_2 - W_1 = 0,288 - 0,648 = -0,36 \text{ J}$$

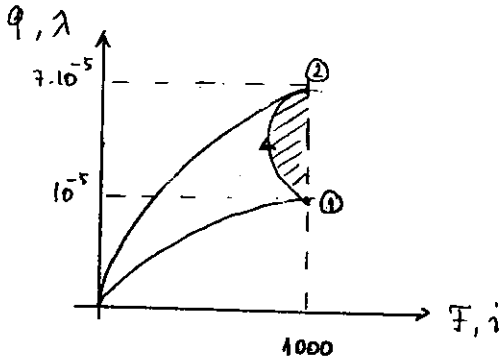
$$e) \Delta I = I' - I = 0,89 - 2 = -1,11 \text{ A}$$

SORU: Bir rölenin öz eğrisi: $\Phi_{\text{kapalı}} = 10^{-7} \cdot (F - 3 \times 10^{-4} \cdot F^2)$ ve $\Phi_{\text{açık}} = 10^{-8} \cdot F$ Wb 'dir. Sürekli durumda mmk 1000 A-sarım, kapama sırasında izlenen yol $F = 700 + (\Phi - 4 \times 10^{-5})^2 / 3 \times 10^{-12}$ dir. Röle açık konumdan kapalı konuma gelmektedir. Kapama sırasında;

- Elektrik enerjisi girişini,
- Depolanan magnetik enerjideki değişimi,
- Mekanik enerji çıkışını bulunuz.

$$F = 1000 \text{ A-sarım} \quad \Phi_{\text{kapalı}} = 7 \cdot 10^{-5} \text{ Wb.}$$

$$\Phi_{\text{açık}} = 10^{-5} \text{ Wb.}$$



$$W_{\text{kapalı}} = \int_0^F \Phi \cdot dF = \int_0^{1000} 10^{-7} \cdot (F - 3 \cdot 10^{-4} \cdot F^2) dF = 10^{-7} \cdot \left(\frac{F^2}{2} - 3 \cdot 10^{-4} \frac{F^3}{3} \right) \Big|_0^{1000}$$

$$W_{\text{kapalı}} = 0,04 \text{ J.}$$

$$W_{\text{açık}} = \int_0^F \Phi \cdot dF = \int_0^{1000} 10^{-8} \cdot F \cdot dF = 10^{-8} \cdot \frac{F^2}{2} \Big|_0^{1000}$$

$$W_{\text{açık}} = 0,005 \text{ J.}$$

$$a) W = (7 - 1) \cdot 1000 \cdot 10^{-5} - W_{\text{taralı}}$$

$$W_{\text{taralı}} = \int_{\Phi_1}^{\Phi_2} F \cdot d\Phi = \int_{10^{-5}}^{7 \cdot 10^{-5}} \left(700 + \frac{(\Phi^2 - 8 \cdot 10^{-5} \Phi + 16 \cdot 10^{-10})}{3 \cdot 10^{-12}} \right) d\Phi$$

$$= \left(700 \Phi + \frac{\Phi^3}{9} \cdot 10^{12} - \frac{8 \cdot 10^{-5} \Phi^2}{6} \cdot 10^{12} + \frac{16 \cdot 10^{-10} \Phi}{3} \cdot 10^{12} \right) \Big|_{10^{-5}}^{7 \cdot 10^{-5}}$$

$$W_{tarali} = 0,0591 - 0,0111 = 0,048 \text{ J.}$$

$$W = 6 \cdot 10^{-2} - 0,048 = 0,012 \text{ J.}$$

$$\begin{aligned} b) W_{kapali} &= F \cdot \varphi - W_{c \text{ kapali}} \\ &= 1000 \cdot 7 \cdot 10^{-5} - 0,04 = 0,03 \text{ J.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{azik} &= F \cdot \varphi - W_{azik} \\ &= 1000 \cdot 10^{-5} - 0,005 = 0,005 \text{ J.} \end{aligned}$$

$$\Delta W = W_{kapali} - W_{azik} = 0,03 - 0,005 = 0,025 \text{ J.}$$

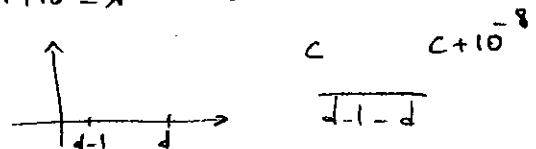
$$c) F_e \cdot dx = i \cdot d\lambda - dW$$

$$F_e \cdot dx = 0,025 - 0,012 = 0,013 \text{ J.}$$

SORU: 100 V' luk doğm genlim kaynağına bağlı, paralel levhalı kondansatörün, levhalar arasındaki uzaklık 0,1 ms içerisinde 1 mm azaldığında, kondansatörün kapasitesinin 10^{-8} F arttığı gözleniyor.

- Kondansatörün levhalarına etkiyen kuvveti bulunuz.
- Kaynaktan çekilen elektrik enerjisi ne kadardır?
- Kaynaktan çekilen elektrik gücü ne kadardır?
- Kaynaktan çekilen ortalama elektrik akımı ne kadardır?
- Kaynaktan çekilen elektrik yük miktarı kaç Coulomb'dur?
- Yapılan mekanik işi bulunuz.
- Mekanik gücü bulunuz.
- Levhanın hızını bulunuz.
- Alanda depo edilen enerjideki değişimi bulunuz.

$$a) F_e = \frac{v^2}{2} \frac{dC}{dx} = \frac{v^2}{2} \frac{\Delta C}{\Delta x} = \frac{100^2}{2} \cdot \frac{C + 10^{-8} - C}{x + 10^{-3} - x} = \frac{100^2}{2} \cdot 10^{-5} = -0,05 \text{ N}$$



$$b) C = 10^{-5} \text{ F}$$

$$W = \frac{1}{2} C V^2 = \frac{1}{2} \cdot 10^{-5} \cdot 100^2 = 0,05 \text{ J.}$$

$$c) P = \frac{W}{t} = \frac{0,05}{0,1 \cdot 10^{-3}} = 500 \text{ W.}$$

$$d) P = v \cdot i \Rightarrow i = \frac{P}{v} = \frac{500}{100} = 5 \text{ A.}$$

$$e) q = C \cdot v = 10^{-5} \cdot 100 = 10^{-3} \text{ C}$$

$$f) W = Fe \cdot x = 0,05 \cdot 10^{-3} \text{ J.}$$

$$g) P = \frac{W}{t} = \frac{0,05 \cdot 10^{-3}}{0,1 \cdot 10^{-3}} = 0,5 \text{ W}$$

$$h) x = v \cdot t \Rightarrow v = \frac{x}{t} = \frac{10^{-3}}{0,1 \cdot 10^{-3}} = 10 \text{ m/s.}$$

$$i) \cancel{W_2} = W_2 - W_1$$

$(Fe \cdot dx)$

$$dW = v \cdot dq = v \cdot \frac{d(C \cdot v)}{dt}$$

$$b) W = v^2 \cdot \left(\frac{dC}{dt} \right)$$

$$= 1 \text{ J}$$

$$c) \frac{W}{t} = 10 \text{ kW}$$

$$d) W = v \cdot dq$$

$$I = 100 \cdot \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad (\Delta q)$$

$$e) Fe.$$

①

SORU: İki elektriksel ve iki mekanik kapasiteli olan bir elektromekanik dönüştürücüde,

$$i_1 = x_1 + \cos x_1 \lambda_1 + \cos x_2 \lambda_2$$

$$i_2 = x_2 + \sin x_1 \lambda_1 + \sin x_2 \lambda_2$$

olarak verilmiştir.

a) Sistemin co-enerji fonksiyonunu bulunuz.

b) Mekanik kapılara etkiyen kuvvetleri bulunuz.

Bağımsız değişkenler akıdır. (λ_1 ve λ_2) 0 holde enerjiyi hesaplayalım.

$$W = \int_0^{\lambda_1} i_1(\lambda_1, 0, x_1, x_2) \cdot d\lambda_1 + \int_0^{\lambda_2} i_2(\lambda_1, \lambda_2, x_1, x_2) \cdot d\lambda_2$$

$$W = \int_0^{\lambda_1} (x_1 + \cos x_1 \lambda_1 + 1) \cdot d\lambda_1 + \int_0^{\lambda_2} (x_2 + \sin x_1 \lambda_1 + \sin x_2 \lambda_2) \cdot d\lambda_2$$

$$W = \left(x_1 \lambda_1 + \frac{1}{x_1} \sin x_1 \lambda_1 + \lambda_1 \right) \Big|_0^{\lambda_1} + \left(x_2 \lambda_2 + \lambda_2 \sin x_1 \lambda_1 - \frac{1}{x_2} \cos x_2 \lambda_2 \right) \Big|_0^{\lambda_2}$$

$$W = x_1 \lambda_1 + \frac{1}{x_1} \sin x_1 \lambda_1 + \lambda_1 + x_2 \lambda_2 + \lambda_2 \sin x_1 \lambda_1 - \frac{1}{x_2} \cos x_2 \lambda_2 + \frac{1}{x_2}$$

a) Co-enerji fonksiyonunu enerji fonksiyonundan yararlanarak bulalım.

$$W_c = i_1 \lambda_1 + i_2 \lambda_2 - W$$

$$\begin{aligned} W_c &= \lambda_1 x_1 + \lambda_1 \cos x_1 \lambda_1 + \lambda_1 \cos x_2 \lambda_2 + \lambda_2 x_2 + \lambda_2 \sin x_1 \lambda_1 \\ &\quad + \lambda_2 \sin x_2 \lambda_2 - x_1 \lambda_1 - \frac{1}{x_1} \sin x_1 \lambda_1 - \lambda_1 - x_2 \lambda_2 - \lambda_2 \sin x_1 \lambda_1 \\ &\quad + \frac{1}{x_2} \cos x_2 \lambda_2 - \frac{1}{x_2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_c &= \lambda_1 \cos x_1 \lambda_1 + \lambda_1 \cos x_2 \lambda_2 + \lambda_2 \sin x_2 \lambda_2 - \frac{1}{x_1} \sin x_1 \lambda_1 \\ &\quad - \lambda_1 + \frac{1}{x_2} \cos x_2 \lambda_2 - \frac{1}{x_2} \end{aligned}$$

b) 1. mekanik kapıya etkiyen kuvvet:

$$F_{e1} = - \frac{\partial W}{\partial x_1} = - \lambda_1 + \frac{1}{x_1^2} \sin x_1 \lambda_1 - \frac{1}{x_1} \lambda_1 \cos x_1 \lambda_1 + \lambda_1 \lambda_2 \sin x_1 \lambda_1$$

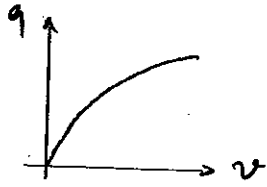
2. mekanik kapiya etkijen kuvvet,

$$F_{e2} = - \frac{\partial W}{\partial x_2} = - \lambda_2 - \frac{1}{x_2^2} \cos x_2 \lambda_2 - \frac{1}{x_2} \lambda_2 \sin x_2 \lambda_2 + \frac{1}{x_2^2}$$

SORU: Dönme hareketi yapan bir elektrostatik enerji dönüştürücü-
sünün kapasitesi $C = (V\theta)^3 + V \cos \theta$ (F) olarak verilebilmektedir.
Burada V olarak gerilimi, θ ise radyan olarak hareketli kısmın
belli bir referansa göre konumunu belirleyen açıdır.

a) Sistemde depo edilen enerjiyi $V = 5V$ ve $\theta = \pi/3$ iken belir-
leyiniz.

b) a) sıkkındaki koşullarda hareketli parçaya etkijen mo-
menti bulunuz.



$$\begin{aligned} L &\Rightarrow C & L &= \frac{\lambda}{i} \Rightarrow \lambda = L \cdot i \\ \lambda &\Rightarrow q & & \downarrow \downarrow \downarrow \\ i &\Rightarrow V & & q = C \cdot V \end{aligned}$$

$$q = V^3 \theta^3 + V^2 \cos \theta : V \text{ bağımsız değişken}$$

V bağımsız değişken ise co-enerjiden gidilir.

$$W_c = \int_0^V q \cdot dV = \int_0^V (V^3 \theta^3 + V^2 \cos \theta) \cdot dV = \frac{V^5}{5} \theta^3 + \frac{V^3}{3} \cos \theta \Big|_0^V$$

$$W_c = \frac{V^5}{5} \theta^3 + \frac{V^3}{3} \cos \theta$$

a) Sistemde depo edilen enerji:

$$W = q \cdot V - W_c = q \cdot V - \frac{V^5}{5} \theta^3 - \frac{V^3}{3} \cos \theta$$

$$W = V^5 \theta^3 + V^3 \cos \theta - \frac{V^5}{5} \theta^3 - \frac{V^3}{3} \cos \theta$$

$$W = \frac{4}{5} V^5 \theta^3 + \frac{2}{3} V^3 \cos \theta$$

$$W = \frac{4}{5} \cdot 5^5 \cdot \left(\frac{\pi}{3}\right)^3 + \frac{2}{3} \cdot 5^3 \cdot \cos\left(\frac{\pi}{3}\right) = 2912,62 \text{ J.}$$

$$b) M_e = + \frac{\partial W_c}{\partial \theta} = \frac{3}{5} V^5 \theta^2 - \frac{V^3}{3} \sin \theta$$

$$M_e = \frac{3}{5} \cdot 5^5 \cdot \left(\frac{\pi}{3}\right)^2 - \frac{5^3}{3} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{3}\right) = 2020,08 \text{ N.m}$$

②

Problemin çözümünde sistemin non-linear olmasına dikkat etmek gerekir. Enerjinin $W = \frac{1}{2} C v^2$ ifadesi ancak linear sistemlerde geçerli olduğundan bu problemin çözümünde kullanılamaz. Benzer biçimde moment için $M = \frac{v^2}{2} \cdot \frac{dC}{d\theta}$ ifadesi yine bu problem çözümünde kullanılmaz.

SORU: Akım ve dönme açısıyla değiştiği bilinen bir endüktans üzerinde yapılan ölçümlerle şu sonuçlar elde edilmiştir.

$$\frac{\partial \lambda}{\partial i} = A + B \cdot \cos \theta$$

$$\lambda(i, \theta) = K \cos \theta + M$$

Burada λ toplam akı, i akım, $\theta = \omega t$ olarak dönme açısıdır. A, B, K, M ve ω birer sabittir.

a) Toplam akının, $\lambda = \lambda(i, \theta)$ biçiminde akım ve açuya bağlı fonksiyonunu belirleyiniz.

b) Endüktansın $L = L(i, \theta)$ biçiminde akım ve açuya bağlı fonksiyonunu belirleyiniz.

c) Magnetik enerjiyi ve co-enerjiyi bulunuz.

d) Sistemde oluşan momentin değerini belirleyiniz.

e) Akımın $i = I_m \sin \omega t$ şeklinde değiştiği bilindiğine göre endüklenen gerilimin işlevini bulunuz.

$$a) \frac{\partial \lambda}{\partial i} = A + B \cdot \cos \theta$$

$$\lambda = \int (A + B \cdot \cos \theta) di = Ai + Bi \cdot \cos \theta + C(\theta)$$

$$\lambda(i, \theta) = Ai + Bi \cdot \cos \theta + C(\theta)$$

$$\lambda(0, \theta) = K \cdot \cos \theta + M = C(\theta)$$

$$\lambda(i, \theta) = Ai + Bi \cdot \cos \theta + K \cdot \cos \theta + M$$

$$b) L = \frac{\lambda}{i} = A + B \cdot \cos \theta + \frac{K}{i} \cos \theta + \frac{M}{i}$$

$$c) \lambda = A_i + B_i \cos \theta + K \cos \theta + M$$

Bağımsız değişken akım olduğu için co-enerjiyi bulalım.

$$W_c = \int_0^i \lambda \cdot di = \int_0^i (A_i + B_i \cos \theta + K \cos \theta + M) \cdot di$$

$$= \frac{A_i^2}{2} + \frac{B_i^2}{2} \cos \theta + K_i \cos \theta + M_i \Big|_0^i$$

$$W_c = \frac{A}{2} i^2 + \frac{B}{2} i^2 \cos \theta + K i \cos \theta + M i \quad (\text{J})$$

Magnetik enerjiyi bulalım.

$$W = i \cdot \lambda - W_c$$

$$= A_i^2 + B_i^2 \cos \theta + K i \cos \theta + M i - \frac{A}{2} i^2 - \frac{B}{2} i^2 \cos \theta - K i \cos \theta - M i$$

$$W = \frac{A_i^2}{2} + \frac{B_i^2}{2} \cos \theta \quad (\text{J})$$

$$d) M_e = + \frac{\partial W_c}{\partial \theta} = - \frac{B_i^2}{2} \sin \theta - K_i \sin \theta \quad (\text{N.M})$$

e) Endüklenen gerilimi, Faraday yasasından yararlanarak bulalım.

$$e = N \cdot \frac{d\Phi}{dt} = \frac{d\lambda}{dt} = \frac{d\lambda(i, \theta)}{dt}$$

$$e = \frac{\partial \lambda}{\partial i} \cdot \frac{di}{dt} + \frac{\partial \lambda}{\partial \theta} \cdot \frac{d\theta}{dt}$$

$$\frac{di}{dt} = \frac{d(I_m \sin \omega t)}{dt} = -\omega \cdot I_m \cdot \cos \omega t$$

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{d(\omega t)}{dt} = \omega$$

$$\frac{\partial \lambda}{\partial i} = A + B \cdot \cos \theta$$

$$\frac{\partial \lambda}{\partial \theta} = -B_i \sin \theta - K \sin \theta$$

$$e = (A + B \cos \theta) (-\omega I_m \cos \omega t) + (-B_i \sin \theta - K \sin \theta) \cdot (\omega)$$

③

SORU: Kayıpsız bir elektromekanik düzenin sargısına ilişkin endüktans,

$$L = \frac{i}{x} + \frac{x}{i} \quad (\text{H})$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada $x = 10 \cdot e^{-t}$ (m) hareketli parçanın sabit bir noktaya göre yer değiştirmesini, $i = 20 \cdot \sin \omega t$ (A) sargıdan akan akımı göstermektedir. $\omega = 3 \text{ rad/s}$ olarak verilmiştir. $t = 1,2$ s anında,

- Sargıda endüklenen gerilimi,
- Alanda biriken enerjiyi,
- Hareketli parçaya etkileyen kuvveti,

bulunuz.

a) Sargıda endüklenen gerilimi Faraday yasasından yararlanarak bulalım.

$$e = N \cdot \frac{d\phi}{dt} = \frac{d\lambda}{dt} = \frac{d\lambda(i, x)}{dt}$$

$$\lambda = L \cdot i = \frac{i^2}{x} + x$$

$$e = \frac{\partial \lambda}{\partial i} \cdot \frac{di}{dt} + \frac{\partial \lambda}{\partial x} \cdot \frac{dx}{dt}$$

$$\frac{di}{dt} = \frac{d(20 \cdot \sin \omega t)}{dt} = 20 \cdot \omega \cdot \cos \omega t$$

$$\frac{dx}{dt} = \frac{d(10 \cdot e^{-t})}{dt} = -10 \cdot e^{-t}$$

$$\frac{\partial \lambda}{\partial i} = \frac{2i}{x}$$

$$\frac{\partial \lambda}{\partial x} = -\frac{i^2}{x^2} + 1$$

$$e = \left(\frac{2i}{x} \right) \cdot (20 \cdot \omega \cdot \cos \omega t) + \left(1 - \frac{i^2}{x^2} \right) \cdot (-10 \cdot e^{-t})$$

$$e = \left(\frac{2 \cdot 20 \cdot \sin(3 \cdot 1,2)}{10 \cdot e^{-1,2}} \right) \cdot (20 \cdot 3 \cdot \cos(3 \cdot 1,2)) + \left(1 - \frac{(20 \cdot \sin(3 \cdot 1,2))^2}{(10 \cdot e^{-1,2})^2} \right) \cdot (-10 \cdot e^{-1,2})$$

$$e = 316,208 + 22,994 = 339,202 \text{ V}$$

$$b) W_c = \int_0^i \lambda \cdot di = \int_0^i \left(\frac{i^2}{x} + x \right) \cdot di = \frac{i^3}{3x} + ix$$

$$W = i \cdot \lambda - W_c = \frac{i^3}{x} + ix - \frac{i^3}{3x} - ix$$

$$W = \frac{2}{3} \frac{i^3}{x}$$

$$W = \frac{2}{3} \cdot \frac{(20 \cdot \sin(3 \cdot 1,21))^3}{10 \cdot e^{-1,2}} = -153,445 \text{ J}$$

$$c) F_e = + \frac{\partial W_c}{\partial x} = - \frac{3i^3}{3x^2} + i$$

$$F_e = - \frac{3 \cdot (20 \cdot \sin(3 \cdot 1,21))^3}{9 \cdot (10 \cdot e^{-1,2})^2} + 20 \cdot \sin(3 \cdot 1,2) = 16,622 \text{ N}$$

Problemın çözümünde $e = L \cdot \frac{di}{dt}$ bağıntısı kullanmak yanlış sonuç verir, çünkü bu bağıntı ancak L sabit iken geçerlidir. Halbuki burada L'nin t'ye bağlı bir değişken olduğu görülmektedir.

SORU: Dönme hareketi yapan bir elektromekanik dönüştürücünün sargısının toplam akısı, sargının akımına ve dönme açısına bağlı olarak aşağıdaki gibi değişmektedir.

$$\lambda = \frac{8i + 13}{i^2 + 3i + 2} \cdot (\sin 2\theta)^3$$

Burada θ dönüştürücünün, hareketli parçasının açısal yer değiştirmesini göstermektedir. θ radyan, i ise amper birimindedir.

a) Dönüştürücüye etkiyen momentin ifadesini bulunuz.

b) $\theta = \frac{\pi}{10}$ rad ve $i = 7 \text{ A}$ doğm akım değeri için momentin değerini bulunuz.

a) Bağımsız değişken akımdır. Co-enerjiden gideceğiz.

$$W_c = \int_0^i \lambda \cdot di \text{ 'dir.}$$

$$\textcircled{4} \quad W_c = \int_0^i \frac{8i+13}{i^2+3i+2} \cdot (\sin 2\theta)^3 \cdot di = (\sin 2\theta)^3 \int_0^i \frac{8i+13}{(i+2) \cdot (i+1)} \cdot di$$

$$\frac{A}{i+2} + \frac{B}{i+1} = \frac{8i+13}{(i+2) \cdot (i+1)}$$

$$Ai + A + Bi + 2B = 8i + 13$$

$$A + B = 8$$

$$A + 2B = 13$$

$$B = 5 \quad A = 3$$

$$W_c = (\sin 2\theta)^3 \cdot \left[\int_0^i \frac{3}{i+2} di + \int_0^i \frac{5}{i+1} di \right]$$

$$\begin{array}{ll} i+2 = t_1 & i+1 = t_2 \\ i = t_1 - 2 & i = t_2 - 1 \\ di = dt_1 & di = dt_2 \end{array}$$

$$= (\sin 2\theta)^3 \cdot \left[\int_0^i \frac{3}{t_1} \cdot dt_1 + \int_0^i \frac{5}{t_2} \cdot dt_2 \right]$$

$$= (\sin 2\theta)^3 \cdot \left(3 \cdot \ln t_1 \Big|_0^i + 5 \cdot \ln t_2 \Big|_0^i \right)$$

$$= (\sin 2\theta)^3 \cdot \left(3 \cdot \ln(i+2) \Big|_0^i + 5 \cdot \ln(i+1) \Big|_0^i \right)$$

$$= (\sin 2\theta)^3 \cdot \left(3 \cdot \ln(i+2) - 3 \cdot \ln 2 + 5 \cdot \ln(i+1) - 5 \cdot \ln 1 \right)$$

$$W_c = (\sin 2\theta)^3 \cdot (3 \cdot \ln(i+2) + 5 \cdot \ln(i+1) - 2,079)$$

$$M_e = + \frac{\partial W_c}{\partial \theta} = (3 \cdot \ln(i+2) + 5 \cdot \ln(i+1) - 3 \cdot \ln 2) \cdot 6 \cdot \cos 2\theta \cdot (\sin 2\theta)^2$$

$$b) \theta = \frac{\pi}{10} \text{ rad ve } i = 7 \text{ A ise,}$$

$$M_e = 6 \cdot \cos \frac{\pi}{5} \cdot \left(\sin \frac{\pi}{5} \right)^2 \cdot (3 \cdot \ln 9 + 5 \cdot \ln 8 - 3 \cdot \ln 2)$$

$$M_e = 25 \text{ N.m.}$$

SORU: Dönme hareketi yapan bir elektromekanik dönüştürücünün sargısının toplam akısı, sargının akımına ve dönme açısına bağlı olarak aşağıdaki gibi değişmektedir.

$$\lambda = \frac{(3i^2 + i) \cdot \sin \theta}{(7 + 9i) \cdot \cos \theta}$$

Burada θ dönüştürücünün hareketli parçasının açısal yer değiştirmesini göstermektedir. θ radyan, i ise amper birimindedir.

a) Dönüştürücüye etkiyen momentin ifadesini bulunuz.

b) $\theta = \frac{\pi}{3}$ rad ve $i = 10$ A dönmü akım değerleri için momentin ani ve ortalama değerlerini bulunuz.

a) Bağımsız değişken akım olduğu için co-enerjiden problem çözülür.

$$W_c = \int_0^i \lambda \cdot di = \frac{\sin \theta}{\cos \theta} \int_0^i \frac{3i^2 + i}{7 + 9i} \cdot di$$

$$\begin{aligned} 7 + 9i &= t \\ i &= \frac{t - 7}{9}, \quad di = \frac{dt}{9} \end{aligned}$$

$$= \frac{\sin \theta}{9 \cdot \cos \theta} \int_0^i \left(\frac{3}{t} \left(\frac{t-7}{9} \right)^2 + \frac{1}{t} \left(\frac{t-7}{9} \right) \right) dt$$

$$= \frac{\sin \theta}{9 \cdot \cos \theta} \int_0^i \left(\frac{3}{t} \left(\frac{t^2 - 14t + 49}{81} \right) + \frac{1}{t} \left(\frac{t-7}{9} \right) \right) dt$$

$$= \frac{\sin \theta}{9 \cdot \cos \theta} \int_0^i \left(\frac{t}{27} - \frac{14}{27} + \frac{49}{27} \cdot \frac{1}{t} + \frac{1}{9} - \frac{7}{9} \cdot \frac{1}{t} \right) dt$$

$$= \frac{\sin \theta}{9 \cdot \cos \theta} \left(\frac{t^2}{54} - \frac{14}{27} t + \frac{49}{27} \ln t + \frac{1}{9} t - \frac{7}{9} \ln t \right) \Big|_0^i$$

$$= \frac{\sin \theta}{9 \cdot \cos \theta} \left(\frac{(7+9i)^2}{54} - \frac{14}{27} (7+9i) + \frac{49}{27} \ln(7+9i) + \frac{1}{9} (7+9i) - \frac{7}{9} \ln(7+9i) \right)$$

$$W_c = \frac{\sin \theta}{9 \cdot \cos \theta} \left(\frac{27i^2 - 24i - 35}{18} - \frac{28}{27} \cdot \ln(7+9i) \right)$$

$$⑤) M_e = + \frac{\partial W_c}{\partial \theta} = \left(\frac{27i^2 - 24i - 35}{162} - \frac{28}{243} \ln(7+9i) \right) \cdot \frac{1}{\cos^2 \theta}$$

b) $\theta = \frac{\pi}{3}$ rad ve $i = 10$ A ise,

$$M_e = \left(\frac{27 \cdot 10^2 - 24 \cdot 10 - 35}{162} - \frac{28}{243} \ln(7+9 \cdot 10) \right) \cdot \frac{1}{\cos^2 \frac{\pi}{3}}$$

$$M_e = 57,768 \text{ N.m}$$

SORU: Bir elektrostatik dönüştürücüde, genlim yük ilişkisi aşağıdaki gibidir.

$$v = (7\theta_1^2 + 5\theta_2^2) \cdot \cos 3q + (5\theta_3^2 + 4\theta_4^2) \cdot \sin 2q$$

a) Dönüştürücünün kaç elektriksel ve kaç mekanik kapısı vardır. Buna göre dönüştürücünün temasını çiziniz.

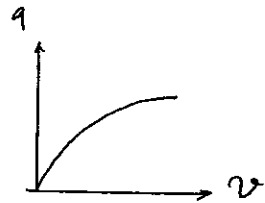
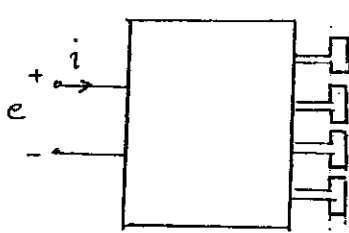
b) Dönüştürücünün enerji ve co-enerji işlevlerini bulunuz.

$$Q = 2C \quad \theta_1 = \frac{\pi}{3} \text{ rad} \quad \theta_2 = \frac{\pi}{4} \text{ rad} \quad \theta_3 = \frac{\pi}{2} \text{ rad} \quad \theta_4 = \frac{\pi}{6} \text{ rad}$$

c) Sistemde depolanan enerji ve co-enerji ne kadardır?

d) Mekanik kapılara etkiyen momentleri bulunuz.

a) Sistem bir elektriksel ve dört mekanik kapıya sahiptir.



- * q bağımsız değişkendir.
- * Moment bulunurken enerji-
 v den gidilir.

$$b) W = \int_0^1 v \cdot dq = \int_0^1 (7\theta_1^2 + 5\theta_2^2) \cdot \cos 3q \cdot dq + \int_0^1 (5\theta_3^2 + 4\theta_4^2) \sin 2q \cdot dq$$

$$= \frac{1}{3} (7\theta_1^2 + 5\theta_2^2) \cdot \sin 3q \Big|_0^1 - \frac{1}{2} (5\theta_3^2 + 4\theta_4^2) \cdot \cos 2q \Big|_0^1$$

$$W = \frac{1}{3} (7\theta_1^2 + 5\theta_2^2) \cdot \sin 3q - \frac{1}{2} (5\theta_3^2 + 4\theta_4^2) \cdot \cos 2q + \frac{1}{2} (5\theta_3^2 + 4\theta_4^2)$$

$$W_c = q \cdot v - W \text{ 'den}$$

$$W_c = q \cdot (7\theta_1^2 + 5\theta_2^2) \cdot \cos 3q + q \cdot (5\theta_3^2 + 4\theta_4^2) \cdot \sin 2q - \frac{1}{3} (7\theta_1^2 + 5\theta_2^2) \cdot \sin 3q + \frac{1}{2} (5\theta_3^2 + 4\theta_4^2) \cdot \cos 2q - \frac{1}{2} (5\theta_3^2 + 4\theta_4^2)$$

$$c) W = \frac{1}{3} \cdot (7 \cdot (\frac{\pi}{3})^2 + 5 \cdot (\frac{\pi}{4})^2) \cdot \sin 6 - \frac{1}{2} (5 \cdot (\frac{\pi}{2})^2 + 4 \cdot (\frac{\pi}{6})^2) \cdot \cos 4 + \frac{1}{2} (5 \cdot (\frac{\pi}{2})^2 + 4 \cdot (\frac{\pi}{6})^2)$$

$$W = 10,105 \text{ J.}$$

$$W_c = 2 \cdot (7 \cdot (\frac{\pi}{3})^2 + 5 \cdot (\frac{\pi}{4})^2) \cdot \cos 6 + 2 \cdot (5 \cdot (\frac{\pi}{2})^2 + 4 \cdot (\frac{\pi}{6})^2) \cdot \sin 4 - 10,105$$

$$W_c = -9,774 \text{ J.}$$

d) 1. mekanik kapiya etkijer moment,

$$M_{e1} = - \frac{\partial W}{\partial \theta_1} = - \frac{1}{3} \cdot 14 \cdot \theta_1 \cdot \sin 3q = - \frac{14}{3} \cdot \frac{\pi}{3} \cdot \sin 6 = 1,365 \text{ Nm.}$$

2. mekanik kapiya etkijer moment,

$$M_{e2} = - \frac{\partial W}{\partial \theta_2} = - \frac{1}{3} \cdot 10 \cdot \theta_2 \cdot \sin 3q = - \frac{10}{3} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \sin 6 = 0,732 \text{ Nm.}$$

3. mekanik kapiya etkijer moment,

$$M_{e3} = - \frac{\partial W}{\partial \theta_3} = \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot \theta_3 \cdot \cos 2q - \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot \theta_3 = 5 \cdot \frac{\pi}{2} \cdot \cos 4 - 5 \cdot \frac{\pi}{2} = -12,988 \text{ Nm.}$$

4. mekanik kapiya etkijer moment,

$$M_{e4} = - \frac{\partial W}{\partial \theta_4} = \frac{1}{2} \cdot 8 \cdot \theta_4 \cdot \cos 2q - \frac{1}{2} \cdot 8 \cdot \theta_4 = 4 \cdot \frac{\pi}{6} \cdot \cos 4 - 4 \cdot \frac{\pi}{6} = -3,463 \text{ Nm.}$$

⑧ SORU: İki mekanik ve iki elektrik kapasite bulunan dönmeli bir elektromekanik dönüştürücüde, akım-toplam akı ilişkisi aşağıda verilmiştir.

$$i_1 = (\theta_1 + \theta_2) \lambda_1 + (\theta_1 - \theta_2) \lambda_2 - \ln(\theta_1 \theta_2)$$

$$i_2 = (\theta_1 - \theta_2) \lambda_1 + (\theta_1 + \theta_2) \lambda_2 + \ln(\theta_1 \theta_2)$$

a) Sistemin co-enerji işlevini elde ediniz.

b) Mekanik kapıların herbirine etkiyen momentleri bulunuz.

a) Bağımsız değişken akıdır.

$$W = \int_0^{\lambda_1} i_1(\lambda_1, 0, \theta_1, \theta_2) \cdot d\lambda_1 + \int_0^{\lambda_2} i_2(\lambda_1, \lambda_2, \theta_1, \theta_2) \cdot d\lambda_2$$

$$= \int_0^{\lambda_1} ((\theta_1 + \theta_2) \lambda_1 - \ln(\theta_1 \theta_2)) d\lambda_1$$

$$+ \int_0^{\lambda_2} ((\theta_1 - \theta_2) \lambda_1 + (\theta_1 + \theta_2) \lambda_2 + \ln(\theta_1 \theta_2)) d\lambda_2$$

$$= \frac{1}{2} (\theta_1 + \theta_2) \lambda_1^2 - \lambda_1 \ln(\theta_1 \theta_2) \Big|_0^{\lambda_1}$$

$$+ \lambda_1 \lambda_2 (\theta_1 - \theta_2) + \frac{1}{2} (\theta_1 + \theta_2) \lambda_2^2 + \lambda_2 \ln(\theta_1 \theta_2) \Big|_0^{\lambda_2}$$

$$W = \frac{1}{2} (\theta_1 + \theta_2) \lambda_1^2 - \lambda_1 \ln(\theta_1 \theta_2) + \lambda_1 \lambda_2 (\theta_1 - \theta_2) + \frac{1}{2} (\theta_1 + \theta_2) \lambda_2^2 + \lambda_2 \ln(\theta_1 \theta_2)$$

$$W_c = i_1 \lambda_1 + i_2 \lambda_2 - W$$

$$= (\theta_1 + \theta_2) \lambda_1^2 + \lambda_1 \lambda_2 (\theta_1 - \theta_2) - \lambda_1 \ln(\theta_1 \theta_2) + \lambda_1 \lambda_2 (\theta_1 - \theta_2) + (\theta_1 + \theta_2) \lambda_2^2 + \lambda_2 \ln(\theta_1 \theta_2) - W$$

$$W_c = \frac{1}{2} (\theta_1 + \theta_2) \lambda_1^2 + \frac{1}{2} (\theta_1 + \theta_2) \lambda_2^2 + \lambda_1 \lambda_2 (\theta_1 - \theta_2)$$

$$b) M_{e1} = - \frac{\partial W}{\partial \theta_1} = - \frac{\lambda_1^2}{2} + \frac{\lambda_1}{\theta_1} - \lambda_1 \lambda_2 - \frac{\lambda_2^2}{2} - \frac{\lambda_2}{\theta_1}$$

$$M_{e2} = - \frac{\partial W}{\partial \theta_2} = - \frac{\lambda_1^2}{2} + \frac{\lambda_1}{\theta_2} + \lambda_1 \lambda_2 - \frac{\lambda_2^2}{2} - \frac{\lambda_2}{\theta_2}$$

SORU: Akım denetimli, bir tek sargılı, dönel hareketli bir aygıtın akısının, akıma bağlı olarak $\Phi = a i - i^2 \sin^3 \theta$ biçiminde değiştiği bilinmektedir. Aygıtın iliskinin sargının sarım sayısı N ' dir. Denklemde a bir değişmez, θ açısal yerdeğiştirmeyi göstermektedir. Sistemin mekanik kayıplarını sistemin dışına atarak, magnetik alanda biriken enerjiyi ve aygıtın hareketli kısma etki eden elektromekanik momenti ve bu momenti maksimum yapan açığı bulunuz.

$$\lambda = N \cdot \Phi = N a i - N i^2 \sin^3 \theta$$

Bağımsız değişken akımdır. Co-enerji bulunur.

$$W_c = \int_0^i \lambda \cdot di = \int_0^i (N a i - N i^2 \sin^3 \theta) di = \left. \frac{N a}{2} i^2 - \frac{N \sin^3 \theta}{3} i^3 \right|_0^i$$

$$W_c = \frac{N a}{2} i^2 - \frac{N \sin^3 \theta}{3} i^3$$

$$W = i \cdot \lambda - W_c = N a i^2 - N i^3 \sin^3 \theta - \frac{N a}{2} i^2 + \frac{N \sin^3 \theta}{3} i^3$$

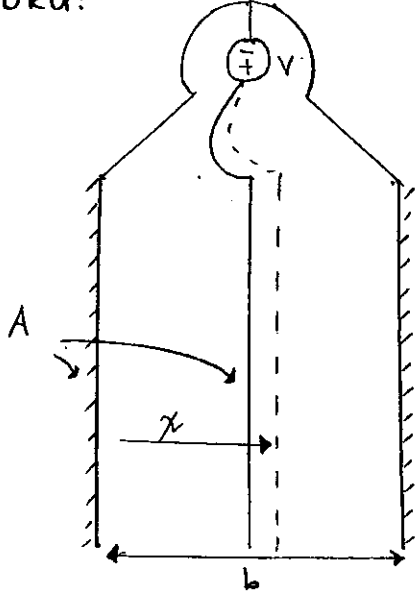
$$W = \frac{N a}{2} i^2 - \frac{2 \cdot N \sin^3 \theta}{3} i^3$$

$$M_e = + \frac{\partial W_c}{\partial \theta} = - \frac{N i^3}{3} \cdot \cos \theta \cdot 3 \cdot \sin^2 \theta$$

$$M_e = - N i^3 \cos \theta \sin^2 \theta$$

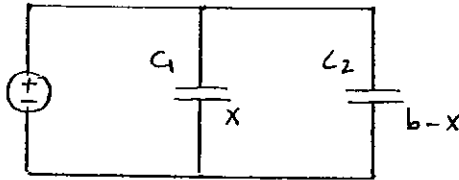
①

SORU:



Şekilde gösterilen kondansatör, her birinin yüzeyi A olan üç paralel levhadan oluşmuştur. Aradaki levha, iki kenar levhaların arasındaki uzaklığın tam ortasına gelecek biçimde yerleştirilmiştir, ancak bu ortadaki levha her iki levhaya paralel kalacak biçimde devinebilmektedir. Ortadaki devingen levha V doğru gerilim kaynağından beslenmiştir. Boşluk havadır.

- Devingen parçaya etkileyen kuvvetin x 'e bağlı ifadesini çıkartın.
- x 'in hangi değeri için devingen parçaya kuvvet etki etmez.
- Devingen parça kırık çizgi ile gösterilen konumda iken, devingen parçaya etkileyen kuvvet hangi yöndedir?
- Devingen parça kırık çizgi ile gösterilen konumda iken, karşı levhaya doğru mu devinir yoksa ortaya doğru devinir? Neden?
- $V=100V$, $A=50\text{ cm}^2$, $b=2\text{ cm}$ iken devingen parçaya etkileyen kuvvetin x 'e bağlı ifadesini çıkartınız ve grafiğini çiziniz.



$$C = \frac{\epsilon \cdot A}{d}, \quad \epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r = \epsilon_0$$

$$C_1 = \epsilon_0 \cdot \frac{A}{x}, \quad C_2 = \epsilon_0 \cdot \frac{A}{b-x}$$

$$C_{es} = C_1 + C_2 = \epsilon_0 \cdot A \cdot \left(\frac{1}{x} + \frac{1}{b-x} \right)$$

$$a) \quad \lambda \Leftrightarrow q$$

$$i \Leftrightarrow v$$

$$L \Leftrightarrow C$$

$$F_e = \frac{i^2}{2} \cdot \frac{dL}{dx} \Leftrightarrow F_e = \frac{v^2}{2} \cdot \frac{dC}{dx}$$

$$F_e = \frac{v^2}{2} \cdot \epsilon_0 \cdot A \cdot \frac{d}{dx} \left(\frac{1}{x} + \frac{1}{b-x} \right)$$

$$F_e = \frac{v^2}{2} \cdot \epsilon_0 \cdot A \cdot \left(-\frac{1}{x^2} + \frac{1}{(b-x)^2} \right)$$

$$b) F_e = 0 \text{ için } \frac{1}{x^2} = \frac{1}{(b-x)^2}$$

$$x^2 = b^2 - 2bx + x^2$$

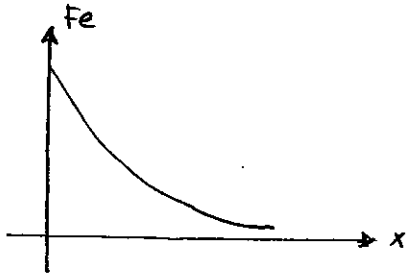
$$2bx = b^2 \Rightarrow x = \frac{b}{2} \text{ deęerinde kuvvet etki etmez.}$$

c-d) Elektromekanik sistemlerde olduğu gibi elektrostatik sistemlerde hep minimum enerjinin olduğu noktaya doğru hareket edilir, yani orta noktaya doğru hareket eder.

$$e) F_e = \frac{V^2}{2} \epsilon_0 \cdot A \cdot \left(-\frac{1}{x^2} + \frac{1}{(b-x)^2} \right)$$

$$F_e = \frac{100^2}{2} \times 8,85 \times 10^{-22} \times 50 \times 10^{-4} \times \left(-\frac{1}{x^2} + \frac{1}{(2 \times 10^{-2} - x)^2} \right)$$

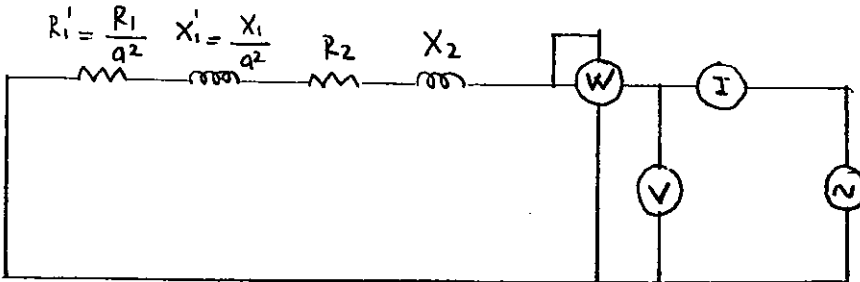
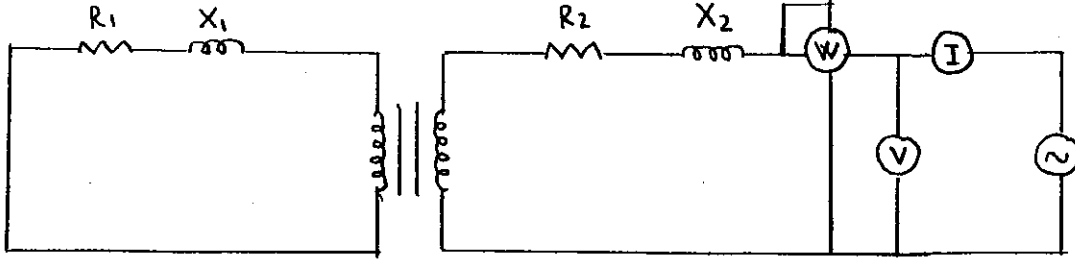
$$F_e = 2,2125 \times 10^{-10} \times \left(\frac{1}{(2 \times 10^{-2} - x)^2} - \frac{1}{x^2} \right)$$



Tek Fazlı Transformator:

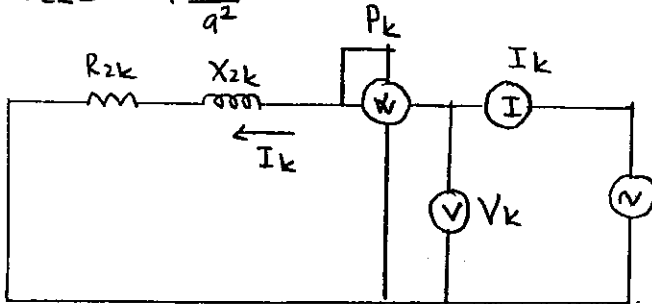
Acık devre deneyi:

Acık devre deneyi ile transformatorün seri kısa devre empedans-
lan hesaplanabilir.



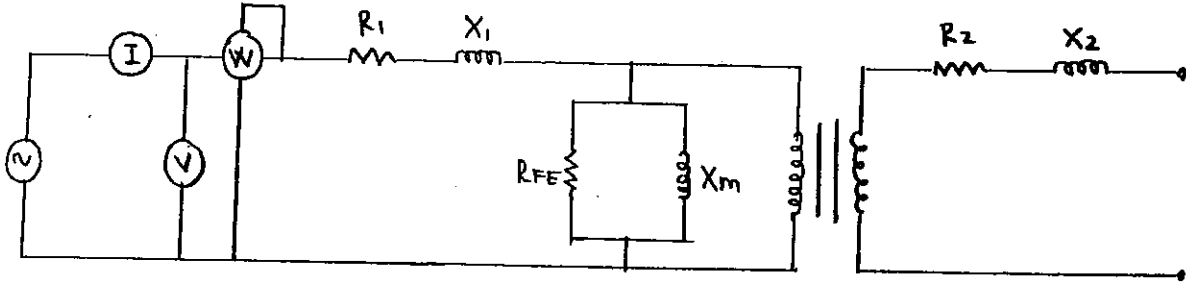
$$R_{2k} = R_2 + \frac{R_1}{a^2}$$

$$X_{2k} = X_2 + \frac{X_1}{a^2}$$

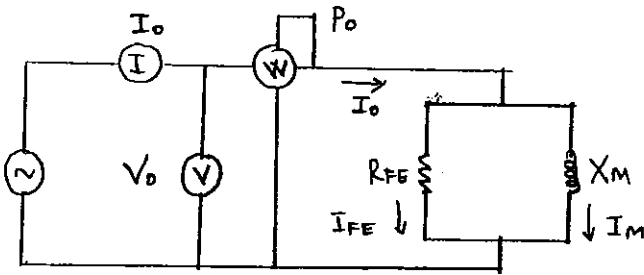


$$\left. \begin{aligned} R_{2k} &= \frac{P_k}{I_k^2} \\ Z_{2k} &= \frac{V_k}{I_k} \end{aligned} \right\} X_{2k} = \sqrt{Z_{2k}^2 - R_{2k}^2}$$

Bosta çalışma (açık devre) deneyi:



Bosta çalışma deneyinde R_{FE} ve X_M parametreleri hesaplanabilir. Birincil empedansı magnetik empedansa oranla ihmal edilebilir. Birincil empedansı ihmal edersek;



$$R_{FE} = \frac{V_0^2}{P_0}$$

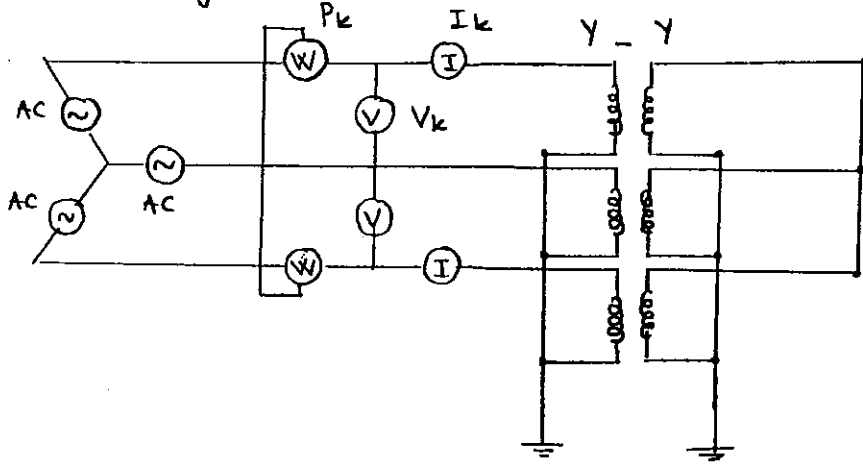
$$S_0 = V_0 \cdot I_0$$

$$G_0 = \sqrt{S_0^2 - P_0^2}$$

$$X_M = \frac{V_0^2}{G_0}$$

Üç Fazlı Transformator:

Kısa devre deneyi:



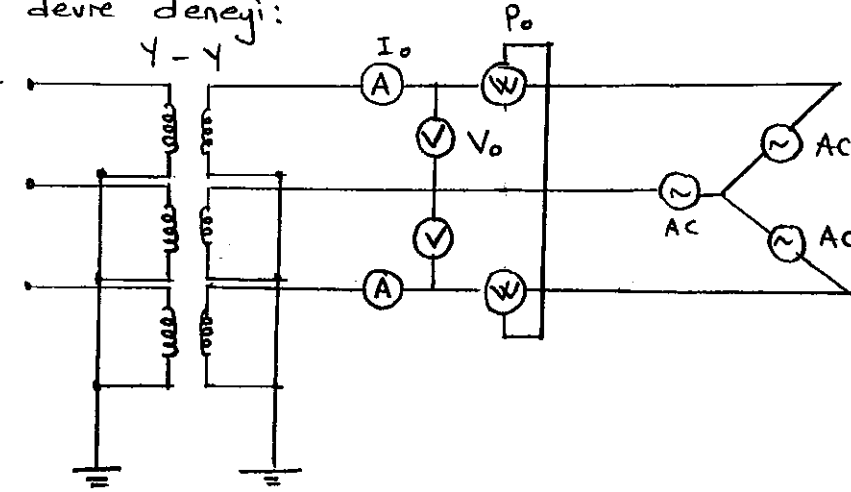
V_k : hat gerilimi

P_k : 3-fazın gücü

Tek transformator için kullanacağımız değerler.

$$V_k' = \frac{V_k}{\sqrt{3}}, \quad P_k' = \frac{P_k}{3}$$

Acık devre deneyi:



V_o : hat gerilimi

P_o : 3-fazın gücü

Tek transformator için kullanacağımız değerler:

$$V_o' = \frac{V_o}{\sqrt{3}}, \quad P_o' = \frac{P_o}{3}$$

SORU: 10 kVA gücünde, 4800/240 V 'luk bir fazlı bir transformatorün sekonder tarafı kısa devre edilerek nominal akımında kısa devre deneyine tabi tutulduğunda, $U_k = 180$ V, $P_k = 180$ W bulunuyor. Miknatıslanma akımının ihmal edilmesi halinde,

a) Sekonderin primere indirilmesi hali için transformatorün kısa devre direnci ve kısa devre reaktansını hesap ediniz.

b) Transformator bosta çalışırken $U_2 = 240$ V, $I_2 = 1,5$ A, $P_0 = 60$ W bulunuyor. $\cos \phi_2 = 0,9$ 'da nominal akımında endüktif çalışması halinde transformatorün demir, bakır kayıpları ile verimini hesap ediniz.

$$a) I_k = I_{1N} = \frac{10000}{4800} = 2,083 \text{ A}$$

$$R_k = \frac{P_k}{I_k^2} = \frac{180}{2,083^2} = 41,47 \Omega$$

$$Z_k = \frac{U_k}{I_k} = \frac{180}{2,083} = 86,41 \Omega$$

$$X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2} = \sqrt{86,41^2 - 41,47^2} = 75,81 \Omega$$

$$b) P_{FE} = P_0 = 60 \text{ W}$$

$$P_{cu} = P_k = 180 \text{ W}$$

$$I_{2N} = \frac{10000}{240} = 41,66 \text{ A}$$

$$\eta = \% \frac{U_2 \cdot I_2 \cdot \cos \phi_2}{U_2 \cdot I_2 \cdot \cos \phi_2 + P_{FE} + P_{cu}} \cdot 100$$

$$\eta = \% \frac{240 \cdot 41,66 \cdot 0,9}{240 \cdot 41,66 \cdot 0,9 + 60 + 180} \cdot 100 = \% 97,4$$

SORU: 2300/230 V luk bir fazlı 500kVA gücünde bir transfor-
matörün sekonder reaktansı $X_{r2} = 0,006 \Omega$, direnci $R_2 = 0,002 \Omega$
dur.

- a) Nominal akımında omik yük hali için E_2 emk' tini,
b) Nominal akımında $\cos \phi_2 = 0,8$ endüktif yük hali için E_2 emk
tini,
c) Nominal akımında $\cos \phi_2 = 0,6$ kapasitif yük hali için E_2 emk
tini hesap ediniz.

$$a) I_2 = \frac{S}{U_2} = \frac{500000}{230} = 2174 \text{ A.}$$

$\cos \phi_2 = 1$, omik yük durumu için,

$$\vec{E}_2 = (U_2 \cdot \cos \phi_2 + I_2 \cdot R_2) + j (U_2 \cdot \sin \phi_2 + I_2 \cdot X_{r2})$$

$$\vec{E}_2 = (230 \cdot 1 + 2174 \cdot 0,002) + j (230 \cdot 0 + 2174 \cdot 0,006)$$

$$\vec{E}_2 = 234,35 + j 13,04$$

$$E_2 = 234,7 \text{ V.}$$

b) $\cos \phi_2 = 0,8$, endüktif yük durumu için,

$$\vec{E}_2 = (U_2 \cdot \cos \phi_2 + I_2 \cdot R_2) + j (U_2 \cdot \sin \phi_2 + I_2 \cdot X_{r2})$$

$$\vec{E}_2 = (230 \cdot 0,8 + 2174 \cdot 0,002) + j (230 \cdot 0,6 + 2174 \cdot 0,006)$$

$$\vec{E}_2 = 188,35 + j 151,04$$

$$E_2 = 241,43 \text{ V}$$

c) $\cos \phi_2 = 0,6$, kapasitif yük durumu için,

$$\vec{E}_2 = (U_2 \cdot \cos \phi_2 + I_2 \cdot R_2) + j (U_2 \cdot \sin \phi_2 - I_2 \cdot X_{r2})$$

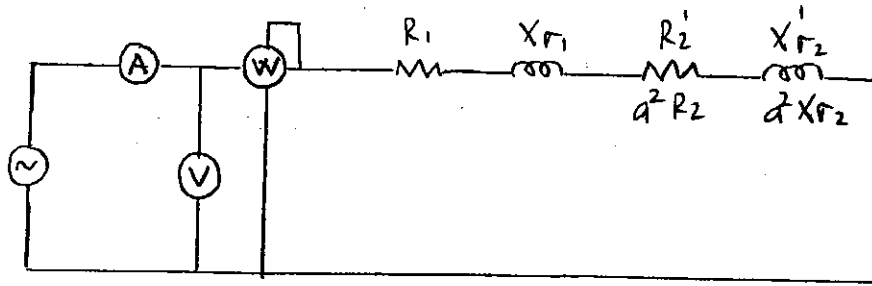
$$\vec{E}_2 = (230 \cdot 0,6 + 2174 \cdot 0,002) + j (230 \cdot 0,8 - 2174 \cdot 0,006)$$

$$\vec{E}_2 = 142,35 + j 170,95$$

$$E_2 = 222,4 \text{ V}$$

SORU: 2300/230 V, 20 kVA gücünde bir fazlı transformatorün alt genlim sargısı kısa devre edildiğinde üst genlim sargısında bulunan wattmetreden 250 W, voltmetreden 50V, ampermetreden 8,7 A okunuyor. Sekonder ve primer bakır ağırlıklarının eşit olması halinde;

- Primer sargı direnci R_1 ve primer sargı reaktansı X_{r1} 'ni,
- Sekonder sargı direnci R_2 ve sekonder sargı reaktansı X_{r2} 'yi,
- Nominal akımında $\cos \phi_2 = 0,7$ endüktif yük hali için E_2 emkfini hesap ediniz.



$$a = \frac{2300}{230} = 10$$

$$R_k = \frac{P_k}{I_k^2} = \frac{250}{8,7^2} = 3,303 \Omega$$

$$Z_k = \frac{U_k}{I_k} = \frac{50}{8,7} = 5,747 \Omega$$

$$X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2} = \sqrt{5,747^2 - 3,303^2} = 4,703 \Omega$$

$$R_k = R_1 + a^2 R_2$$

$$X_k = X_{r1} + a^2 X_{r2}$$

$$R_1 = 0,5 \cdot R_k = 1,6515 \Omega$$

$$X_{r1} = 0,5 \cdot X_k = 2,3515 \Omega$$

$$R_2 = \frac{0,5 \cdot R_k}{a^2} = 16,515 \text{ m}\Omega$$

$$X_{r2} = \frac{0,5 \cdot X_k}{a^2} = 23,515 \text{ m}\Omega$$

$$I_2 = \frac{20000}{230} = 86,96 \text{ A. } \cos \phi_2 = 0,7 \Rightarrow \phi_2 = 45,57^\circ$$

$$\vec{E}_2 = (V_2 \cdot \cos \phi_2 + I_2 \cdot R_2) + j (V_2 \cdot \sin \phi_2 + I_2 \cdot X_{r2})$$

$$\vec{E}_2 = (230 \cdot 0,7 + 86,96 \cdot 16,515 \cdot 10^{-3}) + j (230 \cdot \sin 45,57^\circ + 86,96 \cdot 23,515 \cdot 10^{-3})$$

$$\vec{E}_2 = 162,436 + j 166,289$$

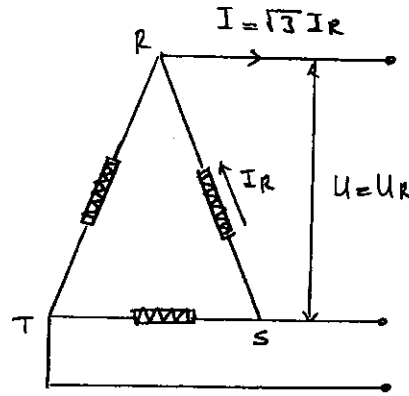
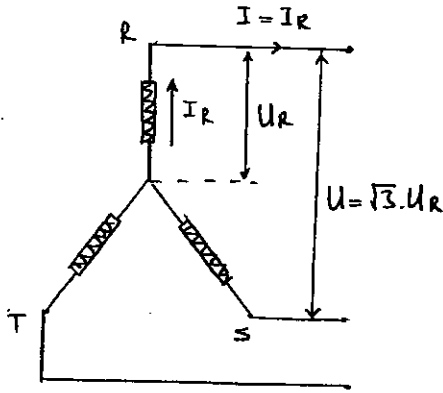
$$E_2 = 232,46 \text{ V}$$

SORU: 2300/230 V 'luk, 60 kVA gücünde üç fazlı bir transformatörün bağlama şekli λ/Δ 'dir.

a) Transformatörün sekonderine bağlanmış olan yük, transformatörün her fazından 100 A çekmekte olup $\cos \phi = 0.7$ endüktiftir. Bu yükün transformatörden çektiği aktif ve reaktif gücü hesaplayınız.

b) Transformatör a şikkindeki gibi çalışırken primer devrenin şebekeden çektiği akımı ve transformatörün bir faz sargısından geçen akımı hesaplayınız. Kayıplar ihmal edilecektir.

NOT: Problemi çözmeden önce yıldız ve üçgen bağlamalardaki; sargı akımı, faz akımı, sargı gerilimi, faz arası gerilimi tariflerini yapalım:



R fazını göz önüne alalım:

Sargıdan geçen akım: I_R

Faz akımı: I

Sargı uçlarındaki gerilim: U_R

Faz arası gerilim: U

Yıldız bağlamada

$I_R = I$ ve $U = \sqrt{3} U_R$ dir.

Üçgen bağlamada

$I = \sqrt{3} I_R$ ve $U = U_R$ dir.

$$a) I_2 = 100 \text{ A}$$

$$U_2 = U_{2R} = 230 \text{ V}$$

$$\cos \phi_2 = 0,7$$

$$P = \sqrt{3} \cdot U_2 \cdot I_2 \cdot \cos \phi_2$$

$$P = \sqrt{3} \cdot 230 \cdot 100 \cdot 0,7 = 27853 \text{ W}$$

$$Q = \sqrt{3} \cdot U_2 \cdot I_2 \cdot \sin \phi_2$$

$$Q = \sqrt{3} \cdot 230 \cdot 100 \cdot 0,71 = 28415,7 \text{ VAR}$$

$$b) S = \sqrt{3} \cdot U_2 \cdot I_2 = \sqrt{3} \cdot 230 \cdot 100 = 39790 \text{ VA}$$

$$S = \sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I_1$$

$$I_1 = \frac{S}{\sqrt{3} U_1} = \frac{39790}{\sqrt{3} \cdot 2300} = 10 \text{ A bulunur.}$$

SORU: 160 kVA gücünde, 6300/400 V 'luk λ/λ bağı 50Hz 'lik üç fazlı transformatorün kısa devre gerilimi $u_k = \%4$ 'dür. Transformatorün bostaki kayıpları $P_0 = 460 \text{ W}$, primerden nominal akımı çekecek şekilde sekonderi kısa devre edildiğinde ölçülen kısa devre kayıpları $P_k = 2350 \text{ W}$ 'dir. Transformatorün nominal yükünde $\cos \phi_2 = 0,8$ endüktif olarak dengeli bir şekilde çalışırken:

a) Transformatorün faz başına kısa devre reaktansını hesaplayınız.

b) Transformatorün verimini hesaplayınız.

$$U_k = u_k \cdot U_{1N} = 0,04 \cdot 6300 = 252 \text{ V}$$

$$S_{\phi_3} = 160 \text{ kVA} \Rightarrow S_{\phi} = \frac{160}{3} \text{ kVA.}$$

$$I_k = \frac{S_{\phi}}{\frac{U_{1N}}{\sqrt{3}}} = \frac{160000 \cdot \sqrt{3}}{3 \cdot 6300} = 14,66 \text{ A.}$$

$$P_{k\phi_3} = 2350 \text{ W} \Rightarrow P_{k\phi} = \frac{2350}{3} \text{ W}$$

$$R_k = \frac{P_{k\phi}}{I_k^2} = \frac{2350}{3 \cdot 14,66^2}$$

$$Z_k = \frac{U_k}{\sqrt{3} \cdot I_k} = \frac{252}{\sqrt{3} \cdot 14,66} = 9,92 \Omega$$

$$X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2} = \sqrt{9,92^2 - 3,645^2} = 9,23 \Omega$$

$$b) I_{2N} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_{2N}} = \frac{160000}{\sqrt{3} \cdot 400} = 231,2 \text{ A}$$

$$\eta = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{2N} \cdot I_{2N} \cdot \cos \phi_2}{\sqrt{3} \cdot U_{2N} \cdot I_{2N} \cdot \cos \phi_2 + P_{FE} + P_{CV}} \cdot 100$$

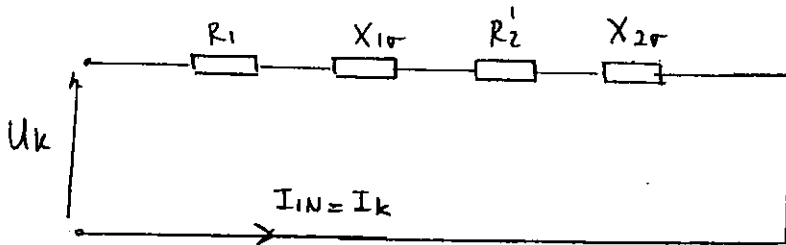
$$\eta = \frac{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 231,2 \cdot 0,8}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 231,2 \cdot 0,8 + 460 + 2350} \cdot 100 = \% 98 \text{ bulunur.}$$

SORU: 600 kVA gücünde 15000/400 V 'luk, λ/λ bağlı üç fazlı bir transformatörün boşa çalışma kayıpları $P_0 = 4 \text{ kW}$, primerinden anma akımı geçecek şekilde sekonderi kısa devre edildiğinde $U_k = 600 \text{ V}$, $P_k = 8 \text{ kW}$ ölçülüyor.

a) Miknatıslanma akımının ihmal edilmesi halinde primere indirgenmiş sekonder devreye göre eşdeğer devreyi çizip devre parametrelerini hesap ediniz. ($R_1 = R_2'$, $X_{1\sigma} = X_{2\sigma}'$ alınacaktır.)

b) Nominal yükündeki bağıl kısa devre gerilimini hesaplayınız.

c) Nominal yükünde $\cos \phi = 0,8$ endüktif çalışan transformatörün verimini ve bağıl gerilim değişimini hesaplayınız. Sekonder gerilimi kaç voltur?



$$a = \frac{15000}{400} = 37,5$$

$$S_{\phi 3} = 600 \text{ kVA} \Rightarrow S_{\phi} = \frac{600}{3} \text{ kVA}$$

$$P_{k\phi 3} = 8 \text{ kW} \Rightarrow P_{k\phi} = \frac{8}{3} \text{ kW}$$

$$I_k = I_{IN} = \frac{S \phi}{\frac{U_{IN}}{\sqrt{3}}} = \frac{600000 \cdot \sqrt{3}}{3.15000} = 23,09 \text{ A.}$$

$$R_k = \frac{P_{k\phi}}{I_k^2} = \frac{8000}{3.23,09^2} = 5 \Omega$$

$$Z_k = \frac{U_k}{I_k} = \frac{600}{\sqrt{3} \cdot 23,09} = 15 \Omega$$

$$X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2} = \sqrt{15^2 - 5^2} = 14,14 \Omega$$

$$R_k = R_1 + a^2 R_2$$

$$X_k = X_1 + a^2 X_2$$

$$R_1 = 0,5 \cdot R_k = 2,5 \Omega$$

$$X_1 = 0,5 X_k = 7,07 \Omega$$

$$R_2 = \frac{0,5 \cdot R_k}{a^2} = 1,78 \text{ m}\Omega$$

$$X_2 = \frac{0,5 \cdot X_k}{a^2} = 5,03 \text{ m}\Omega$$

$$b) U_k = \frac{U_k}{U_N} \% 100 = \frac{600}{1500} \% 100 = \% 4$$

$$c) U_\psi = U_R \cdot \cos \phi + U_X \cdot \sin \phi$$

$$U_R = \frac{I_{IN} R_k}{U_{IN}} \% 100 = \frac{23,12 \cdot 5}{\frac{15000}{\sqrt{3}}} \% 100 = \% 1,33$$

$$U_X = \frac{I_{IN} \cdot X_k}{U_{IN}} \% 100 = \frac{23,12 \cdot 14,14}{\frac{15000}{\sqrt{3}}} \% 100 = \% 3,77$$

$$U_\psi = 0,0133 \cdot 0,8 + 0,0377 \cdot 0,6 = \% 3,328$$

$$U_\psi = \frac{U_1 - U_2'}{U_1}$$

$$U_2' = U_1 - U_1 \cdot U_\psi = 15000 - 15000 \cdot 0,03328 = 14500,8$$

$$U_2 = \frac{U_2'}{a} = \frac{14500,8}{37,5} = 386,7 \text{ V}$$

$$\eta = \frac{S \cdot \cos \phi_2}{S \cdot \cos \phi_2 + P_{FE} + P_{cu}} \% 100 = \frac{600 \cdot 10^3 \cdot 0,8}{600 \cdot 10^3 \cdot 0,8 + 8000 + 4000} \% 100$$

$$= \% 97,56.$$

SORU: 250 kVA, 20kV/400V, 50 Hz'lik tek fazlı bir transformatörün anma akımları, 0,8 güç katsayısı ile tam yüklendiğinde ikincil etkin ve tepkin güçleri hesaplayınız. Aynı güç katsayısında transformatörün birincil etkin gücü 100 kW olduğunda birincil kısmın görünür ve tepkin gücünü bulunuz.

$$I_{1N} = \frac{S_N}{U_{1N}} = \frac{250000}{20000} = 12,5 \text{ A.}$$

$$I_{2N} = \frac{S_N}{U_{2N}} = \frac{250000}{200} = 625 \text{ A.}$$

$$P_2 = S_N \cdot \cos \phi_2 = 250 \cdot 0,8 = 200 \text{ kW.}$$

$$Q_2 = S_N \cdot \sin \phi_2 = 250 \cdot 0,6 = 150 \text{ kVAR.}$$

$$P_1 = S_1 \cdot \cos \phi_1 \Rightarrow S_1 = \frac{100000}{0,8} = 125 \text{ kVA.}$$

$$Q_1 = S_1 \cdot \sin \phi_1 = 125 \cdot 0,6 = 75 \text{ kVAR.}$$

$$I_1 = \frac{P_1}{U_{1N} \cdot \cos \phi_1} = \frac{100}{20 \cdot 0,8} = 6,25 \text{ A olur.}$$

SORU: 20 MVA, 63 kV/5,5 kV, 50 Hz'lik üç fazlı bir transformatörün anma akımlarını, 0,8 güç katsayısı ile tam yüklendiğinde ikincil etkin ve tepkin güçleri hesaplayınız. Aynı güç katsayısında transformatörün birincil etkin gücü 12 MW olduğunda birincil akımı, görünür ve tepkin gücünü bulunuz.

$$I_{1N} = \frac{S_N}{\sqrt{3} U_{1N}} = \frac{20000}{\sqrt{3} \cdot 63} = 183,3 \text{ A.}$$

$$I_{2N} = \frac{S_N}{\sqrt{3} \cdot U_{2N}} = \frac{20000}{\sqrt{3} \cdot 5,5} = 2098,5 \text{ A.}$$

$$P_2 = S_N \cdot \cos \phi_2 = 20 \cdot 0,8 = 16 \text{ MW}$$

$$Q_2 = S_N \cdot \sin \phi_2 = 20 \cdot 0,6 = 12 \text{ MVAR.}$$

$$P_1 = S_1 \cdot \cos \varphi_1 \Rightarrow S_1 = \frac{12}{0,8} = 15 \text{ MVA.}$$

$$Q_1 = S_1 \cdot \sin \varphi_1 = 15 \cdot 0,6 = 9 \text{ MVAR.}$$

$$S_1 = \sqrt{3} U_1 \cdot I_1 \Rightarrow I_1 = \frac{15000}{\sqrt{2} \cdot 63} = 137,46 \text{ A.}$$

SORU: Sarm sayısı birincil sargıda 1320 ve ikincil sargıda 46 olan tek fazlı transformatorün azami akısı $3,76 \cdot 10^{-2}$ Wb'dir. Sargılardan 50 Hz frekansta endüklenen gerilimleri ve sarm gerilimini bulunuz.

$$E_1 = 4,44 \cdot f \cdot N_1 \cdot \varphi_m$$

$$= 4,44 \cdot 50 \cdot 1320 \cdot 3,76 \cdot 10^{-2} = 11018 \text{ V}$$

$$E_2 = 4,44 \cdot f \cdot N_2 \cdot \varphi_m$$

$$= 4,44 \cdot 50 \cdot 46 \cdot 3,76 \cdot 10^{-2} = 384 \text{ V}$$

$$\text{Sarm gerilimi } E_s = \frac{E_1}{N_1} = \frac{11018}{1320} = 8,3 \text{ V}$$

$$\text{veya } E_s = \frac{E_2}{N_2} = \frac{384}{46} = 8,3 \text{ V}$$

SORU: 2300 V / 230 V, 50 Hz'lik tek fazlı bir transformatorde birincil sarm sayısı 4800 olduğuna göre faydalı akıyı, ikincil sarm sayısını ve sarm gerilimini hesaplayınız.

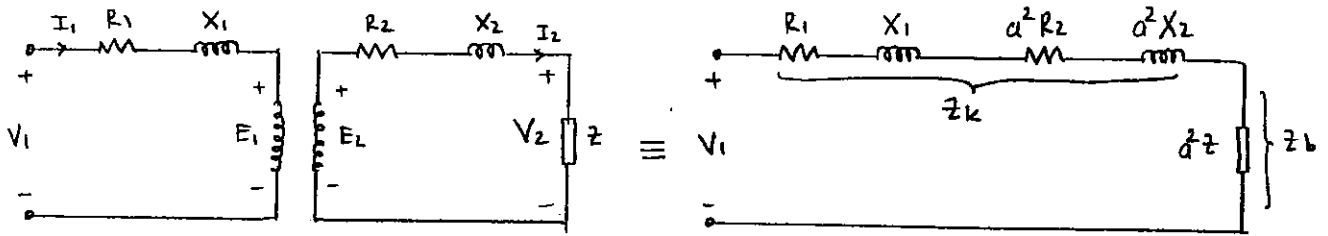
$$\varphi_m = \frac{E_1}{4,44 \cdot f \cdot N_1} = \frac{2300}{4,44 \cdot 50 \cdot 4800} = 2,16 \text{ mWb.}$$

$$\frac{U_{1N}}{U_{2N}} = \frac{N_1}{N_2} \Rightarrow N_2 = N_1 \cdot \frac{U_{2N}}{U_{1N}} = 4800 \cdot \frac{230}{2300} = 480$$

$$E_s = \frac{U_{1N}}{N_1} = \frac{2300}{4800} = 0,48 \text{ V}$$

SORU: 220V / 110V 'luk tek fazlı transformatörde $R_1 = 3 \Omega$, $X_1 = 4 \Omega$, $R_2 = 0,7 \Omega$, $X_2 = 0,8 \Omega$, $R_{FE} = \infty$, $X_M = \infty$ olarak veriliyor. İkincil sargıya $(10 + j4) \Omega$ 'luk yük bağlansın. Bu durumda,

- Birincil akımını ($I_1 = ?$)
- İkincil akımını ($I_2 = ?$)
- Birincil faz açısını ($\phi_1 = ?$)
- İkincil faz açısını ($\phi_2 = ?$)
- Endüklenen gerilimleri ($E_1 = ?$, $E_2 = ?$)
- Birincil görünür gücünü ($S_1 = ?$)
- Birincil etkin gücünü ($P_1 = ?$)
- Birincil tepkin gücünü ($Q_1 = ?$)
- İkincil görünür gücünü ($S_2 = ?$)
- İkincil etkin gücünü ($P_2 = ?$)
- İkincil tepkin gücünü ($Q_2 = ?$)



$$a = \frac{U_1}{U_2} = \frac{220}{110} = 2$$

$$z_k = (R_1 + a^2 R_2) + j(X_1 + a^2 X_2)$$

$$z_k = (3 + 4 \cdot 0,7) + j(4 + 4 \cdot 0,8) = 5,8 + j7,2$$

$$z_b = a^2 z = 4 \cdot (10 + j4) = 40 + j16$$

$$z_1 = z_k + z_b = 45,8 + j23,2$$

$$z_1 = 51,34 \Omega \quad \phi_1 = 26,86^\circ$$

$$a) I_1 = \frac{U_1}{z_1} = \frac{220}{51,34} = 4,285 \text{ A.}$$

$$b) a = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad I_2 = a \cdot I_1 = 8,57 \text{ A.}$$

$$c) \phi_1 = 26,86^\circ$$

$$d) z = 10 + j4 \Rightarrow \phi_2 = 21,8^\circ$$

$$e) E_2 = I_2 \cdot (R_2 + jX_2 + z) = 8,57 \cdot (10,7 + j4,8) = 100,5 \angle 24,16^\circ$$

$$E_2 = 100,5 \text{ V}$$

$$E_1 = a \cdot E_2 = 201 \text{ V}$$

NOT:

$$E_2 = I_2 \cdot (R_2 + jX_2) + V_2$$

$$V_{2x} = V_2 \cdot \cos \phi_2$$

$$V_2 = I_2 \cdot (10 + j4) = V_{2x} + jV_{2y}$$

$$V_{2y} = V_2 \cdot \sin \phi_2$$

$$f) S_1 = U_1 \cdot I_1 = 220 \cdot 4,285 = 942,7 \text{ VA}$$

$$g) P_1 = S_1 \cdot \cos \phi_1 = 942,7 \cdot \cos 26,86^\circ = 840,995 \text{ W}$$

$$h) \theta_1 = S_1 \cdot \sin \phi_1 = 942,7 \cdot \sin 26,86^\circ = 425,923 \text{ VAR}$$

veya

$$S_1 = z_1 \cdot I_1^2 = 51,34 \cdot 4,285^2 = 942,7 \text{ VA}$$

$$P_1 = R_1 \cdot I_1^2 = 45,8 \cdot 4,285^2 = 840,9 \text{ W}$$

$$\theta_1 = X_1 \cdot I_1^2 = 23,2 \cdot 4,285^2 = 425,9 \text{ VAR}$$

$$i) U_2 = z \cdot I_2 = 10,77 \cdot 8,57 = 92,3 \text{ V}$$

$$S_2 = U_2 \cdot I_2 = 92,3 \cdot 8,57 = 791 \text{ VA}$$

$$j) P_2 = S_2 \cdot \cos \phi_2 = 791 \cdot \cos 21,8^\circ = 734,432 \text{ W}$$

$$k) \theta_2 = S_2 \cdot \sin \phi_2 = 791 \cdot \sin 21,8^\circ = 293,752 \text{ VAR}$$

SORU: 2300 / 230 V, 750 kVA, 50 Hz 'lik tek fazlı transformatorün sargı dirençleri ve reaktansları aşağıdaki gibidir.

$$R_1 = 0,093 \text{ ohm}, X_1 = 0,28 \text{ ohm}, R_2 = 0,00093 \text{ ohm}, X_2 = 0,0028 \text{ ohm}$$

Transformatör tam yükte çalışmaktadır. Buna göre,

a) Birincil ve ikincil akımları,

b) Birincil ve ikincil sargı empedanslarını,

c) Birincil ve ikincil sargı gerilim düşümlerini,

d) Birincil ve ikincil sargılarda endüklenen gerilimleri,

e) Çevirme oranını,

f) U_1 gerilimlerinin birbirine oranını bulunuz.

$$a) I_1 = \frac{S_N}{V_{1N}} = \frac{750000}{2300} = 326,087 \text{ A.}$$

$$I_2 = \frac{S_N}{V_{2N}} = \frac{750000}{230} = 3260,87 \text{ A.}$$

$$b) z_1 = R_1 + jX_1 = 0,093 + j0,28$$

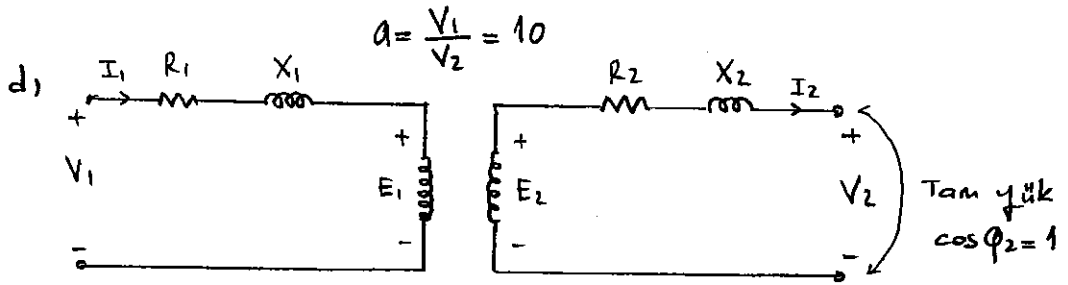
$$z_1 = 0,295 \angle \varphi_1, \varphi_1 = 71,63^\circ$$

$$z_2 = R_2 + jX_2 = 0,00093 + j0,0028$$

$$z_2 = 2,95 \text{ m}\Omega, \varphi_2 = 71,63^\circ$$

$$c) V_{1r} = z_{1r} \cdot I_{1N} = 0,295 \cdot 326,087 = 96,197 \text{ V}$$

$$V_{2r} = z_{2r} \cdot I_{2N} = 2,95 \cdot 10^{-3} \cdot 3260,87 = 9,619 \text{ V}$$



$$\vec{E}_2 = (U_2 \cdot \cos \varphi_2 + I_2 \cdot R_2) + j(U_2 \cdot \sin \varphi_2 + I_2 \cdot X_2)$$

$$\vec{E}_2 = (230,1 + 3260,87 \cdot 0,00093) + j(230,1 \cdot 0 + 3260,87 \cdot 0,0028)$$

$$\vec{E}_2 = 233,033 + j9,113$$

$$E_2 = 233,21 \text{ V}$$

$$E_1 = a \cdot E_2 = 2332,1 \text{ V}$$

$$e) a = \frac{E_1}{E_2} = \frac{2271,51}{233,21} = 9,74$$

Transformer ideal değildir.

$$f) \frac{V_1}{V_2} = \frac{2300}{230} = 10$$

$$a = \frac{E_1}{E_2} \approx \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} \text{ 'dir.}$$

SORU: 10 kVA, 2000 / 400V, 50Hz 'lik tek fazlı bir transformatorde $R_1 = 5,2 \Omega$, $X_1 = 12,5 \Omega$, $R_2 = 0,2 \Omega$, $X_2 = 0,5 \Omega$ 'dur. En basit eşdeğer devrenin direnç, reaktans ve empedansı ile kısa devre güç katsayısını ve faz açısını bulunuz. Transformator anma geriliminde çalışırken ikincil sargı 0,8 endüktif güç katsayısında 15Ω 'luk bir empedansla yüklenirse birincil akımı, güç katsayısı ve faz açısı ile ikincil akımı, gerilimi, görünürlük, etkin ve tepkin gücü bulunuz.

$$a = \frac{U_{1N}}{U_{2N}} = 5$$

$$Z_k = (R_1 + a^2 R_2) + j(X_1 + a^2 X_2)$$

$$Z_k = (5,2 + 25 \cdot 0,2) + j(12,5 + 25 \cdot 0,5)$$

$$Z_k = 10,2 + j 25$$

$$R_k = 10,2 \Omega, X_k = 25 \Omega, Z_k = 27 \Omega$$

$$\phi_k = 67,8^\circ, \cos \phi_k = 0,3778$$

$$Z_b = 15 \Omega \text{ ve } \cos \phi_2 = 0,8 \text{ ise,}$$

$$R_b = Z_b \cdot \cos \phi_2 = 15 \cdot 0,8 = 12 \Omega$$

$$X_b = Z_b \cdot \sin \phi_2 = 15 \cdot 0,6 = 9 \Omega$$

Z_b 'nin birincile indirgenmiş değeri,

$$\left. \begin{array}{l} R_b' = a^2 R_b = 25 \cdot 12 = 300 \Omega \\ X_b' = a^2 X_b = 25 \cdot 9 = 225 \Omega \end{array} \right\} Z_b' = 300 + j 225 \Omega$$

$$Z_1 = Z_k + Z_b' = 10,2 + j 25 + 300 + j 225 = 310,2 + j 250 \Omega$$

$$Z_1 = 398,4 \Omega, \phi_1 = 38,87^\circ, \cos \phi_1 = 0,7786$$

$$I_1 = \frac{U_1}{Z_1} = \frac{2000}{398,4} = 5 \text{ A.}$$

$$I_2 = a \cdot I_1 = 25 \text{ A.}$$

$$U_2 = Z_b \cdot I_2 = 15 \cdot 25 = 375 \text{ V}$$

$$S_1 = U_1 \cdot I_1 = 2000 \cdot 5 = 10 \text{ kVA}$$

$$P_1 = S_1 \cdot \cos \phi_1 = 10000 \cdot 0,7786 = 7786 \text{ W}$$

$$Q_1 = S_1 \cdot \sin \phi_1 = 10000 \cdot \sin 38,87^\circ = 6275,5 \text{ VAR}$$

$$S_2 = Z_b \cdot I_2^2 = 15 \cdot 25^2 = 9375 \text{ VA}$$

$$P_2 = R_b \cdot I_2^2 = 12 \cdot 25^2 = 7500 \text{ W}$$

$$Q_2 = X_b \cdot I_2^2 = 9 \cdot 25^2 = 5625 \text{ VAR}$$

veya

$$Z_b = 12 + j9 = 15 \angle 36,87^\circ$$

$$S_2 = U_2 \cdot I_2 = 375 \cdot 25 = 9375 \text{ VA}$$

$$P_2 = S_2 \cdot \cos \phi_2 = 9375 \cdot \cos 36,87^\circ = 7500 \text{ W}$$

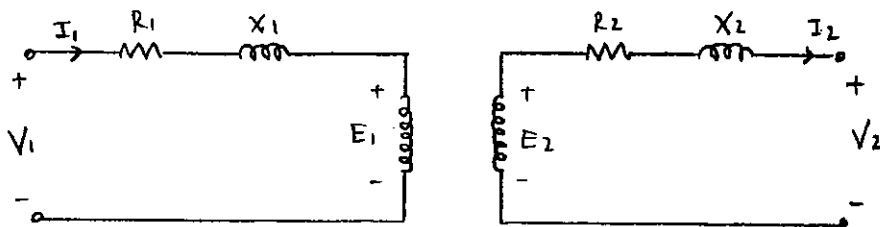
$$Q_2 = S_2 \cdot \sin \phi_2 = 9375 \cdot \sin 36,87^\circ = 5625 \text{ VAR}$$

SORU: 23 kVA, 2300/230 V, 50 Hz'lik indirici bir transformatörün $R_1 = 4 \Omega$, $X_1 = 12 \Omega$, $R_2 = 0,04 \Omega$, $X_2 = 0,12 \Omega$ olarak veriliyor. Transformatör % 75 yükte çalışıyor. 0,866 leri güç faktörüyle yüklenen transformatörün, birincil ve ikincil akımlarını, sargılarda endüklenen gerilimleri, giriş ve çıkış etkin güçleri ve verimi bulunuz.

$$X = \frac{I_2}{I_{2N}} \Rightarrow I_2 = X \cdot I_{2N}$$

$$I_2 = 0,75 \cdot \frac{23000}{230} = 75 \text{ A}$$

$$a = \frac{V_{1N}}{V_{2N}} = \frac{2300}{230} = 10 \Rightarrow I_1 = \frac{I_2}{a} = 7,5 \text{ A}$$



$$\vec{E}_2 = (V_2 \cdot \cos \phi_2 + I_2 \cdot R_2) + j(V_2 \cdot \sin \phi_2 - I_2 \cdot X_2)$$

$$\cos \phi_2 = 0,866 \quad \text{kapasitif. (ileri)}$$

$$\phi_2 = 30^\circ$$

$$\vec{E}_2 = (230 \cdot \cos 30^\circ + 75 \cdot 0,04) + j(230 \cdot \sin 30^\circ - 75 \cdot 0,12)$$

$$\vec{E}_2 = 202,186 + j \cdot 106$$

$$E_2 = 228,287 \angle 27,67^\circ \text{ V}$$

$$E_1 = a \cdot E_2 = 2282,87 \angle 27,67^\circ \text{ V}$$

$$V_1 = I_1 \cdot Z_1 + E_1$$

$$V_1 = 7,5 \cdot (4 + j12) + (2021,86 + j1060)$$

$$V_1 = 2051,86 + j1150 = 2352,154 \angle 29,27^\circ$$

$$P_o = \text{Re} [V_2 \cdot I_2^*] = \text{Re} [230 \angle 30^\circ \cdot 75]$$

$$P_o = 230 \cdot 75 \cdot \cos 30^\circ = 14938,94 \text{ W}$$

$$P_i = \text{Re} [V_1 \cdot I_1^*] = \text{Re} [2352,154 \angle 29,27^\circ \cdot 7,5]$$

$$P_i = 2352,154 \cdot 7,5 \cdot \cos 29,27^\circ = 15388,83 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_o}{P_i} \cdot 100 = \frac{14938,94}{15388,83} \cdot 100 = 97,07\%$$

SORU: 500 kVA 'lık 3. fazlı bir transformatörün bosta çalışma kayıp gücü 1kW, kısa devre kayıp gücü 7,8 kW 'dır. Güç katsayısı 0,8 endüktif olduğunda tam ve yarım yükte verimi hesaplayınız. Güç katsayısının 1 değeri için azami verimi ve bu verimden kayıp ve görünür gücü bulunuz.

Tam yükte verim: $\cos \phi_2 = 0,8$ ve $x = 1$

Çıkış gücü: $P_{2x} = x \cdot S_N \cdot \cos \phi_2 = 1 \cdot 500 \cdot 0,8 = 400 \text{ kW}$

Kayıp güç: $P_x = P_0 + x^2 P_k = 1 + 1^2 \cdot 7,8 = 8,8 \text{ kW}$

Giriş gücü: $P_{1x} = P_{2x} + P_x = 400 + 8,8 = 408,8 \text{ kW}$

Verim: $\eta = \frac{P_{2x}}{P_{1x}} = \frac{400}{408,8} \cdot 100 = \% 97,85$

Not: Bosta kayıp gücü P_0 demir kayıplarına, kısa devre kayıp gücünde P_k bakır kayıplarına esittir.

Kayıp güç: $P_x = P_{Fe} + x^2 P_{Cu} = P_0 + x^2 P_k$ 'dır.

Yarım yükte verim: $\cos \phi_2 = 0,8$ ve $x = 0,5$

Çıkış gücü: $P_{2x} = x \cdot S_N \cdot \cos \phi_2 = 0,5 \cdot 500 \cdot 0,8 = 200 \text{ kW}$

Kayıp güç: $P_x = P_0 + x^2 P_k = 1 + 0,5^2 \cdot 7,8 = 2,95 \text{ kW}$

Giriş gücü: $P_{1x} = P_{2x} + P_x = 200 + 2,95 = 202,95 \text{ kW}$

Verim: $\eta = \frac{P_{2x}}{P_{1x}} = \frac{200}{202,95} \cdot 100 = \% 98,54$

$\cos \phi_2 = 1$ için;

Azami verim:

Yükleme oranı: $X_m = \sqrt{\frac{P_0}{P_k}} = \sqrt{\frac{1}{7,8}} = 0,358$

Not: Azami verim değişken bakır kayıp gücünün, sabit demir kayıp gücüne eşit olduğu yerde elde edilmektedir.

$P_k = P_0 = 1 \text{ kW}$

$P_x = 2 P_0 = 2 \text{ kW}$ Kayıp güç.

$S_m = X_m \cdot S_N = 0,358 \cdot 500 = 179 \text{ kW}$ Görünür güç.

$$\text{Çıkış gücü : } P_{2x} = X \cdot S_N \cdot \cos \phi_2 = 0,358 \cdot 500 \cdot 1 = 179 \text{ kW}$$

$$\text{Kayıp güç : } P_x = 2P_0 = 2 \text{ kW}$$

$$\text{Giriş gücü : } P_{1x} = P_{2x} + P_x = 179 + 2 = 181 \text{ kW}$$

$$\text{Verim : } \eta = \frac{P_{2x}}{P_{1x}} = \frac{179}{181} \cdot 100 = \% 98,89$$

SORU: 160 kVA 'lık üç fazlı bir dağıtım transformatörünün katalogunda bosta kayıp gücü 300 W, anma kısa devre kayıp gücü 2350 W veriliyor. Güç katsayısı 0,85 olduğunda, tam ve %60 yükte verim ile azami verimi hesaplayınız.

$$\text{Tam yükte verim : } \cos \phi_2 = 0,85 \text{ ve } x = 1$$

$$\text{Çıkış gücü : } P_{2x} = X \cdot S_N \cdot \cos \phi_2 = 1 \cdot 160 \cdot 0,85 = 136 \text{ kW}$$

$$\text{Kayıp güç : } P_x = P_0 + x^2 \cdot P_k = 300 + 1^2 \cdot 2350 = 2,65 \text{ kW}$$

$$\text{Giriş gücü : } P_{1x} = P_{2x} + P_x = 136 + 2,65 = 138,65 \text{ kW}$$

$$\text{Verim : } \eta = \frac{P_{2x}}{P_{1x}} = \frac{136}{138,65} \cdot 100 = \% 98,09$$

$$\%60 \text{ yükte verim : } \cos \phi_2 = 0,85 \text{ ve } x = 0,6$$

$$\text{Çıkış gücü : } P_{2x} = X \cdot S_N \cdot \cos \phi_2 = 0,6 \cdot 160 \cdot 0,85 = 81,6 \text{ kW}$$

$$\text{Kayıp güç : } P_x = P_0 + x^2 \cdot P_k = 300 + 0,6^2 \cdot 2350 = 1,146 \text{ kW}$$

$$\text{Giriş gücü : } P_{1x} = P_{2x} + P_x = 81,6 + 1,146 = 82,746 \text{ kW}$$

$$\text{Verim : } \eta = \frac{P_{2x}}{P_{1x}} = \frac{81,6}{82,746} \cdot 100 = \% 98,61$$

$$\text{Azami verim : } \cos \phi_2 = 0,85 \text{ ve } X_M$$

$$\text{Yükleme oranı : } X_M = \sqrt{\frac{P_0}{P_k}} = \sqrt{\frac{300}{2350}} = 0,357$$

$$\text{Çıkış gücü : } P_{2x} = X_M \cdot S_N \cdot \cos \phi_2 = 0,357 \cdot 160 \cdot 0,85 = 48,593 \text{ kW}$$

$$\text{Kayıp güç : } P_k = P_0 = 300 \text{ W} \quad P_x = 2P_0 = 600 \text{ W} = 0,6 \text{ kW}$$

$$\text{Giriş gücü : } P_{1x} = P_{2x} + P_x = 48,593 + 0,6 = 49,193 \text{ kW}$$

$$\text{Verim : } \eta = \frac{P_{2x}}{P_{1x}} = \frac{48,593}{49,193} \cdot 100 = \% 98,78$$

SORU: 250 kVA'lık üç fazlı bir dağıtım transformatöründe, bosta kayıp gücü $P_0 = 930 \text{ W}$, anma kısa devre kayıp gücü $P_{KN} = P_{Cu} = 4600 \text{ W}$ tir. Güç katsayısı 0,6 olduğunda tam yükte verimi bulunuz. Kondansatör kullanarak güç katsayısı 1 yapıldığında ve aynı etkin güç çekildiğinde verimi ve tasarruf edilen ΔV kayıp gücünü hesaplayınız.

Tam yükte verim : $\cos \phi_2 = 0,6$ ve $x = 1$

Çıkış gücü : $P_{2x} = x \cdot S_N \cdot \cos \phi_2 = 1 \cdot 250 \cdot 0,6 = 150 \text{ kW}$

Kayıp güç : $P_x = P_0 + x^2 \cdot P_k = 930 + 1^2 \cdot 4600 = 5,53 \text{ kW}$

Giriş gücü : $P_{1x} = P_{2x} + P_x = 150 + 5,53 = 155,53 \text{ kW}$

Verim : $\eta = \frac{P_{2x}}{P_{1x}} = \frac{150}{155,53} \cdot 100 = 96,44\%$

Kondansatör kullanarak $\cos \phi_2 = 1$ yapılırsa,

Çıkış gücü : $P_{2x} = 150 \text{ kW}$

$P_{2x} = x \cdot S_N \cdot \cos \phi_2 \Rightarrow x = \frac{P_{2x}}{S_N \cdot \cos \phi_2} = \frac{150}{250 \cdot 1} = 0,6$ olur.

Kayıp güç : $P_x = P_0 + x^2 \cdot P_k = 930 + 0,6^2 \cdot 4600 = 2,586 \text{ kW}$

Giriş gücü : $P_{1x} = P_{2x} + P_x = 150 + 2,586 = 152,586 \text{ kW}$

Verim : $\eta = \frac{P_{2x}}{P_{1x}} = \frac{150}{152,586} \cdot 100 = 98,31\%$

Tasarruf edilen kayıp güç,

$\Delta P_x = P_x - P_x' = 5,53 - 2,586 = 2,944 \text{ kW}$

SORU: Keban santrali 60,3 MVA, 14,4 kV / 220 kV, 50 Hz'lik tek fazlı transformatörlerinden birinin bosta deneyinde 71,2 kW, kısa devre deneyinde 168,4 kW ölçülmüştür. İkincil güç katsayısı 0,8 olduğunda tam ve yarı yükte, 40 MVA ikincil görünür güste, 232,9 A ikincil akımda kayıplar ve verimi hesaplayınız. Aynı güç katsayısında azami verimi ve azami verimde kayıplar, ikincil akımı, görünür, etkin ve tepkin gücü bulunuz.

Tam yükte verim : $\cos \phi_2 = 0,8$ ve $x = 1$

$$\text{Çıkış gücü} : P_{2x} = x \cdot S_N \cdot \cos \phi_2 = 1 \cdot 60,3 \cdot 0,8 = 48,24 \text{ MW}$$

$$\text{Kayıp güç} : P_x = P_0 + x^2 \cdot P_k = 71,2 + 1^2 \cdot 168,4 = 0,2396 \text{ MW}$$

$$\text{Giriş gücü} : P_{1x} = P_{2x} + P_x = 48,24 + 0,2396 = 48,4796 \text{ MW}$$

$$\text{Verim} : \eta = \frac{P_{2x}}{P_{1x}} = \frac{48,24}{48,4796} \cdot 100 = \%99,51$$

Yarı yükte verim : $\cos \phi_2 = 0,8$ ve $x = 0,5$

$$\text{Çıkış gücü} : P_{2x} = x \cdot S_N \cdot \cos \phi_2 = 0,5 \cdot 60,3 \cdot 0,8 = 24,12 \text{ MW}$$

$$\text{Kayıp güç} : P_x = P_0 + x^2 \cdot P_k = 71,2 + 0,5^2 \cdot 168,4 = 0,1133 \text{ MW}$$

$$\text{Giriş gücü} : P_{1x} = P_{2x} + P_x = 24,12 + 0,1133 = 24,2333 \text{ MW}$$

$$\text{Verim} : \eta = \frac{P_{2x}}{P_{1x}} = \frac{24,12}{24,2333} \cdot 100 = \%99,53$$

40 MVA'lık yükte verim : $\cos \phi_2 = 0,8$

$$\text{Yükleme oranı} : S_x = x \cdot S_N$$

$$x = \frac{S_x}{S_N} = \frac{40}{60,3} = 0,663 \text{ olur.}$$

$$\text{Çıkış gücü} : P_{2x} = x \cdot S_N \cdot \cos \phi_2 = 40 \cdot 0,8 = 32 \text{ MW}$$

$$\text{Kayıp güç} : P_x = P_0 + x^2 \cdot P_k = 71,2 + 0,663^2 \cdot 168,4 = 0,1452 \text{ MW}$$

$$\text{Giriş gücü} : P_{1x} = P_{2x} + P_x = 32 + 0,1452 = 32,1452 \text{ MW}$$

$$\text{Verim} : \eta = \frac{P_{2x}}{P_{1x}} = \frac{32}{32,1452} \cdot 100 = \%99,55$$

232,9 A'lık ikincil yük akımında verim : $\cos \phi_2 = 0,8$

$$\text{Yükleme oranı} : I_{2N} = \frac{S_N}{U_{2N}} = \frac{60,3 \cdot 10^3}{220} = 274 \text{ A.}$$

$$I_x = x \cdot I_{2N}$$

$$x = \frac{I_x}{I_{2N}} = \frac{232,9}{274} = 0,85 \text{ olur.}$$

$$\text{Çıkış gücü} : P_{2x} = x \cdot S_N \cdot \cos \phi_2 = 0,85 \cdot 60,3 \cdot 0,8 = 41,004 \text{ MW}$$

$$\text{Kayıp güç} : P_x = P_0 + x^2 \cdot P_k = 71,2 + 0,85^2 \cdot 168,4 = 0,192869 \text{ MW}$$

$$\text{Giriş gücü} : P_{1x} = P_{2x} + P_x = 41,004 + 0,192869 = 41,196869 \text{ MW}$$

$$\text{Verim} : \eta = \frac{P_{2x}}{P_{1x}} = \frac{41,004}{41,196869} \cdot 100 = \% 99,53$$

$$\text{Azami verim} : \cos \phi_2 = 0,8 \text{ ve } x_M$$

$$\text{Yükleme oranı} : x_M = \sqrt{\frac{P_0}{P_k}} = \sqrt{\frac{71,2}{168,4}} = 0,65$$

$$\text{Çıkış gücü} : P_{2x} = x \cdot S_N \cdot \cos \phi_2 = 0,65 \cdot 60,3 \cdot 0,8 = 31,356 \text{ MW}$$

$$\text{Kayıp güç} : P_k = P_0 = 71,2 \text{ kW} \quad P_x = 2P_0 = 142,4 \text{ kW}$$

$$\text{Giriş gücü} : P_{1x} = P_{2x} + P_x = 31,356 + 0,1424 = 31,4984 \text{ MW}$$

$$\text{Verim} : \eta = \frac{P_{2x}}{P_{1x}} = \frac{31,356}{31,4984} \cdot 100 = \% 99,55$$

Azami koşullarda;

$$\text{Yük akımı} : I_{2A} = x \cdot I_{2N} = 0,65 \cdot 276 = 178,4 \text{ A}$$

$$\text{Gösterir güç} : S_{2A} = x \cdot S_N = 0,65 \cdot 60,3 = 39,195 \text{ MVA}$$

$$\text{Etkin güç} : P_{2A} = S_{2A} \cdot \cos \phi_2 = 39,195 \cdot 0,8 = 31,356 \text{ MW}$$

$$\text{Tepkin güç} : Q_{2A} = S_{2A} \cdot \sin \phi_2 = 39,195 \cdot 0,6 = 23,517 \text{ MVAR}$$

SORU: 125 kVA, 2000 V / 440 V, $i_0 = \% 2,5$, 50 Hz 'lik tek fazlı bir transformatörde sarmı gerilimi 11V, etkin demir kesiti 0,046 m², demir kayıpları 600 W, bakır kayıpları 1500 W, her iki sargıda da akım yoğunluğu 2,2 A/mm² 'dir. Faydalı akıyı, akı yoğunluğunu, her bir sargının sarmı sayısını ve iletken kesitini hesaplayınız. Güç katsayısı 0,8 olduğunda tam yükte verimi, azami verimi ve azami verimdeki etkin güçleri bulunuz. Bosta ampersanım, birincil ve ikincil ampersanım ne kadardır?

$$E_s = 4,44 f \Phi_m$$

$$\Phi_m = \frac{E_s}{4,44 \cdot f} = \frac{11}{4,44 \cdot 50} = 49,55 \text{ mWb}$$

$$\Phi_m = B \cdot A \Rightarrow B = \frac{\Phi_m}{A} = \frac{49,55 \cdot 10^{-3}}{0,046} = 1,077 \text{ T}$$

$$E_s = \frac{E_1}{N_1} = \frac{E_2}{N_2}$$

$$N_1 = \frac{E_1}{E_s} = \frac{2000}{11} = 182, \quad N_2 = \frac{E_2}{E_s} = \frac{440}{11} = 40$$

iletken kesiti: ?

Tam yükte verim: $\cos \varphi_2 = 0,8$ ve $x=1$

Çıkış gücü: $P_{2x} = x \cdot S_N \cdot \cos \varphi_2 = 1 \cdot 125 \cdot 0,8 = 100 \text{ kW}$

Kayıp güç: $P_x = P_0 + x^2 P_k = 600 + 1^2 \cdot 1500 = 2,1 \text{ kW}$

Çıkış gücü: $P_{1x} = P_{2x} + P_x = 100 + 2,1 = 102,1 \text{ kW}$

Verim: $\eta = \frac{P_{2x}}{P_{1x}} = \frac{100}{102,1} \% 100 = \% 97,94$

Azami verim: $\cos \varphi_2 = 0,8$

Yükleme oranı: $x_M = \sqrt{\frac{P_0}{P_k}} = \sqrt{\frac{600}{1500}} = 0,632$

Çıkış gücü: $P_{2x} = x \cdot S_N \cdot \cos \varphi_2 = 0,632 \cdot 125 \cdot 0,8 = 63,2 \text{ kW}$

Kayıp güç: $P_k = P_0 = 600 \text{ W}$ $P_x = 2P_0 = 1200 \text{ W}$

Çıkış gücü: $P_{1x} = P_{2x} + P_x = 63,2 + 1,2 = 64,4 \text{ kW}$

Verim: $\eta = \frac{P_{2x}}{P_{1x}} = \frac{63,2}{64,4} \% 100 = \% 98,14$

Azami verimde,

Görünür güç: $S_{2A} = x \cdot S_N = 0,632 \cdot 125 = 79 \text{ kVA}$

Etkin güç: $P_{2A} = S_{2A} \cdot \cos \varphi_2 = 79 \cdot 0,8 = 63,2 \text{ kW}$

Tepkin güç: $Q_{2A} = S_{2A} \cdot \sin \varphi_2 = 79 \cdot 0,6 = 47,4 \text{ kVAR}$

$$I_{1N} = \frac{S_N}{U_{1N}} = \frac{125}{2} = 62,5 \text{ A}$$

$$I_{2N} = \frac{S_N}{U_{2N}} = \frac{125}{0,44} = 284,1 \text{ A}$$

Bosta çalışma akımı: $I_{10} = i_0 \cdot I_{1N} = \% 2,5 \cdot 62,5 = 1,5625 \text{ A}$

Bosta amper-saniye: $F_{10} = N_1 \cdot I_{10} = 182 \cdot 1,5625 = 284,375 \text{ Amper Saniye}$

veya

$$F_{10} = i_0 \cdot F_{1N} \text{ 'dır.}$$

$$F_{1N} = N_1 \cdot I_{1N} = 182 \cdot 62,5 = 11375 \text{ Amper-sarım.}$$

$$F_{2N} = N_2 \cdot I_{2N} = 40 \cdot 284,1 = 11364 \text{ Amper-sarım.}$$

Bosta görünür gücü:

$$S_0 = i_0 \cdot S_N = \%2,5 \cdot 125 = 3,125 \text{ kVA.}$$

SORU: 660 MVA, 50 Hz lik üç fazlı güç transformatoründe bosta kayıp gücü 465 kW, kısa devre kayıp gücü 1580 kW tir. 0,85 indüktanslı güç katsayısı ile yarı yüklemde verimi, en büyük verimin elde edildiği yükleme oranını ve en büyük verimi bulunuz.

Yarım yükte verim: $\cos \phi_2 = 0,85$ ve $x = 0,5$

$$\text{Çıkış gücü : } P_{2x} = x \cdot S_N \cdot \cos \phi_2 = 0,5 \cdot 660 \cdot 0,85 = 280,5 \text{ MW}$$

$$\text{Kayıp güç : } P_x = P_0 + x^2 P_k = 465 + 0,5^2 \cdot 1580 = 0,86 \text{ MW}$$

$$\text{Giriş gücü : } P_{1x} = P_{2x} + P_x = 280,5 + 0,86 = 281,36 \text{ MW}$$

$$\text{Verim : } \eta = \frac{P_{2x}}{P_{1x}} = \frac{280,5}{281,36} \cdot \%100 = \%99,69$$

Azami verim,

$$\text{Yükleme oranı : } x_m = \sqrt{\frac{P_0}{P_k}} = \sqrt{\frac{465}{1580}} = 0,542$$

$$\text{Çıkış gücü : } P_{2x} = x \cdot S_N \cdot \cos \phi_2 = 0,542 \cdot 660 \cdot 0,85 = 304,062 \text{ MW}$$

$$\text{Kayıp güç : } P_k = P_0 = 465 \text{ kW} \quad P_x = 2P_0 = 0,93 \text{ MW}$$

$$\text{Giriş gücü : } P_{1x} = P_{2x} + P_x = 304,062 + 0,93 = 304,992 \text{ MW}$$

$$\text{Verim : } \eta = \frac{P_{2x}}{P_{1x}} = \frac{304,062}{304,992} \cdot \%100 = \%99,695$$

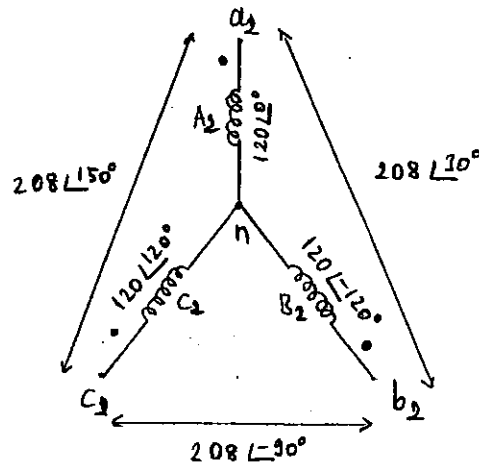
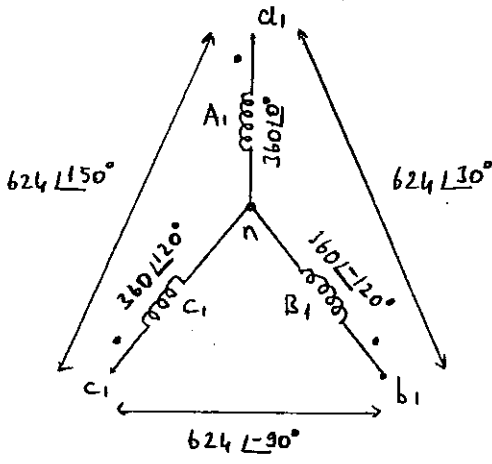
SORU: 720 VA, 360/120 V' luk üç tane tek fazlı transformator birleştirilerek bir tane 3- fazlı transformator elde edilmiştir. Her bir transformatorün parametreleri, $R_1 = 18,9 \Omega$, $X_1 = 21,6 \Omega$, $R_2 = 2,1 \Omega$, $X_2 = 2,4 \Omega$, $R_{FE} = 8,64 k\Omega$ ve $X_m = 6,84 k\Omega$ dur. Buna göre üç fazlı transformator,

- Y-Y bağlantıda faz-faz arası gerilim ve görünür gücünü bulunuz.
- Δ - Δ bağlantıda faz-faz arası gerilim ve görünür gücünü bulunuz.
- Y- Δ bağlantıda faz-faz arası gerilim ve görünür gücünü bulunuz.
- Δ -Y bağlantıda faz-faz arası gerilim ve görünür gücünü bulunuz.

Bu sorunun çözümünde $Z_{\Delta} = 3 \cdot Z_Y$ ve $V_{FF} = \sqrt{3} V_{FN}$ dönüşümlerini biliyoruz.

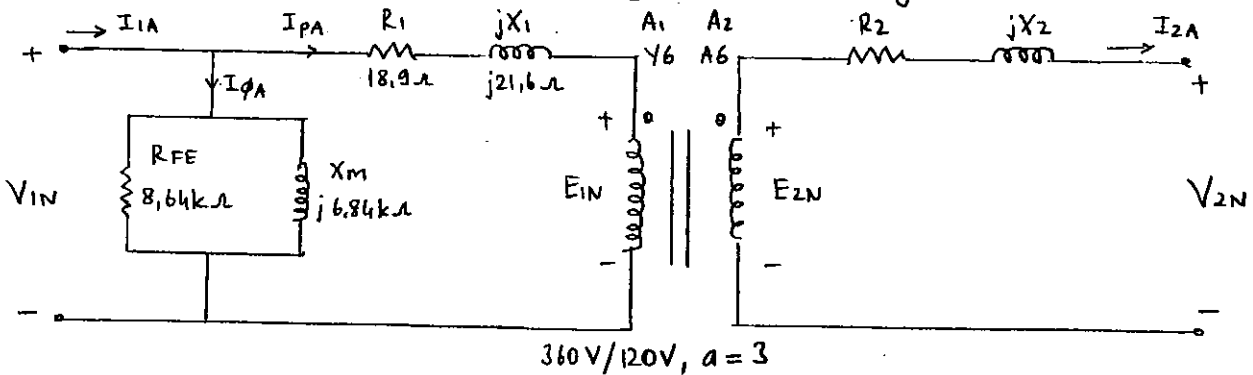
a) Y-Y bağlantı durumunda,

$$\text{Görünür güç} = S_{3\phi} = 3 \cdot 720 = 2160 \text{ VA} = 2,16 \text{ kVA.}$$

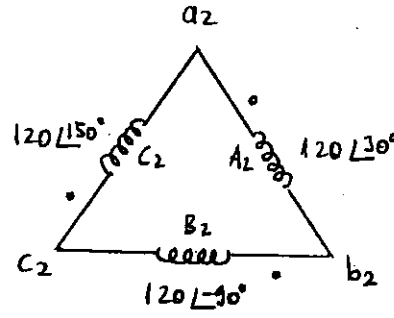
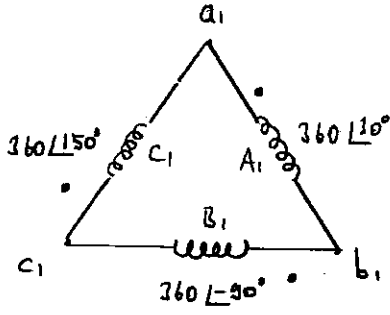


$$a = \frac{N_1}{N_2}, 2,16 \text{ kVA}, 624/208 \text{ V}, Y/Y$$

Tek bir transformator için esdeğer devre; (örneğin A fazına ilişkin)



b) Δ - Δ bağlantı durumunda,



Δ - Δ bağlantıda nötr hattı olmadığından faz-faz arası gerilimi sargı uclarındaki gerilime esittir. Böylece Δ - Δ bağlanan üç fazlı transformatorü şu şekilde tanımlarız:

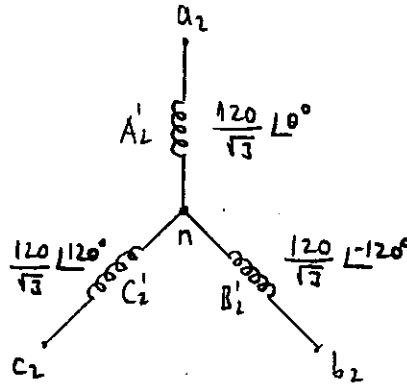
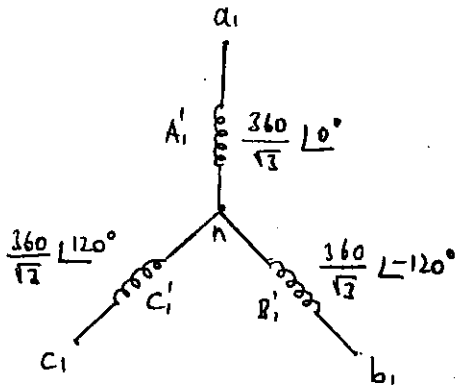
$$a = \frac{N_1}{N_2}, 2,16 \text{ kVA}, 360/120 \text{ V}, \Delta/\Delta$$

Böyle Δ - Δ bağlı transformatorü Y - Y bağlantıya çevirirsek, yani $\Delta \rightarrow Y$ dönüşümü yaparsak,

$$Z_Y = \frac{Z_{\Delta}}{3} \quad V_{FN} = \frac{V_{FF}}{\sqrt{3}} \quad \Delta \rightarrow Y \text{ açılar } 30^\circ \text{ artar}$$

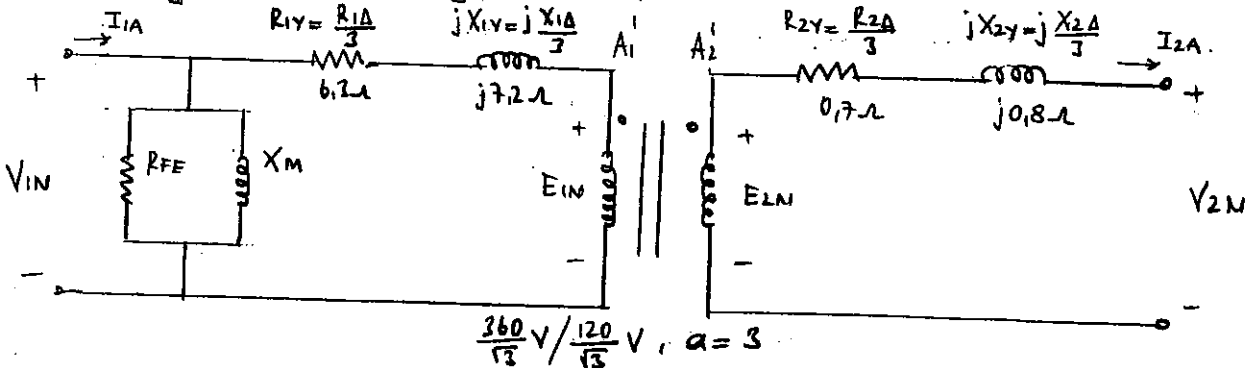
$$Y \rightarrow \Delta \text{ açılar } 30^\circ \text{ azalır.}$$

Buna göre;

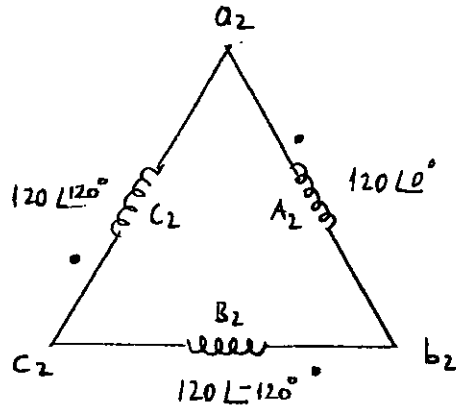
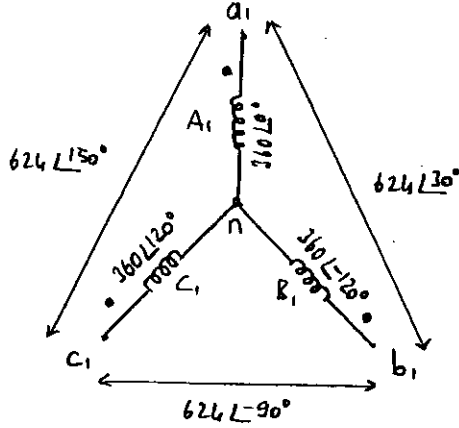


$\Delta \rightarrow Y$ dönüşümünde empedansların değişimini tek bir transformator-

ün eşdeğer devresinde gösterirsek,



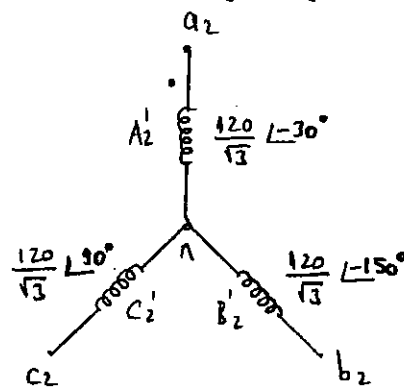
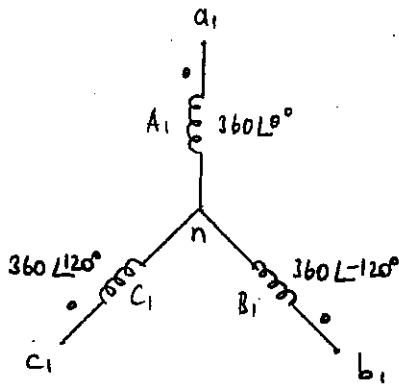
c) Y-Δ bağlantı durumunda,



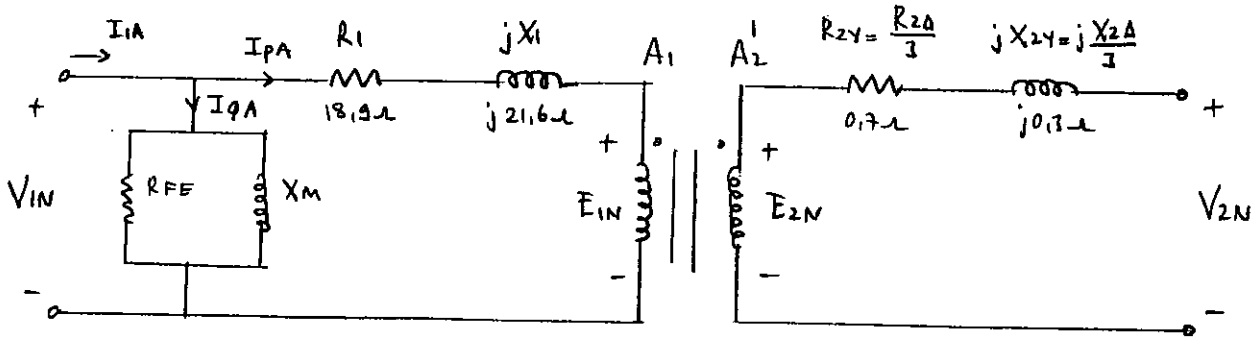
Bu durumda üç fazlı transformatör şu şekilde tanımlanır:

$$a_1 = \sqrt{3} \cdot \frac{N_1}{N_2}, \quad 2,16 \text{ kVA}, \quad 624/120 \text{ V}, \quad Y/\Delta$$

Bu şekilde Y-Δ bağlı transformatörü Y-Y bağlantıya çevirirsek;



Y-Δ → Y-Y dönüşümünde empedansların değişimini tek bir transformatörün eşdeğer devresinde gösterirsek,

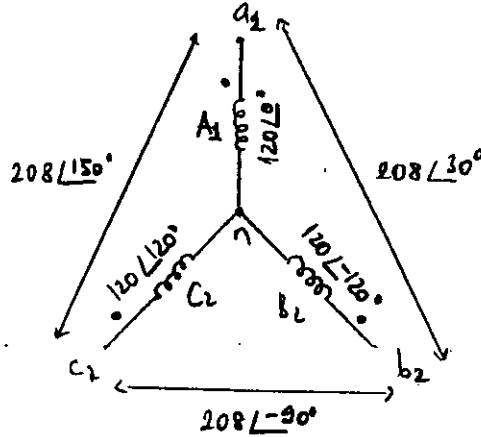
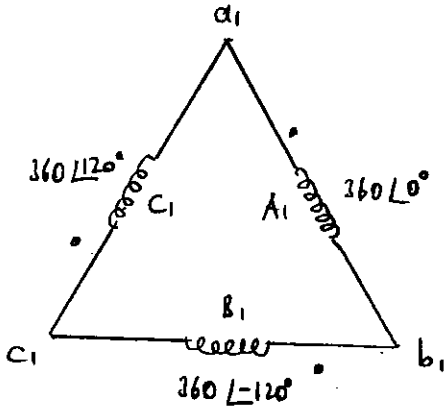


$$360\text{V} / \frac{120}{\sqrt{3}} \text{V}, \quad \alpha = 5,196$$

$$E_{1N} = \alpha \cdot E_{2N} \angle +30^\circ$$

$$I_{PA} = \frac{1}{\alpha} I_{2N} \angle +30^\circ$$

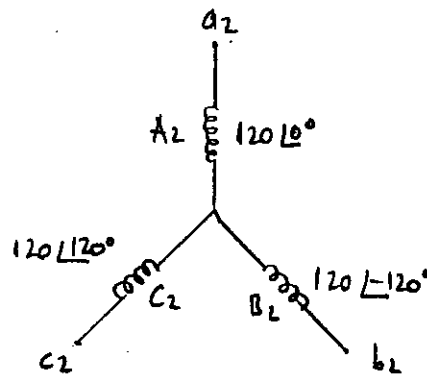
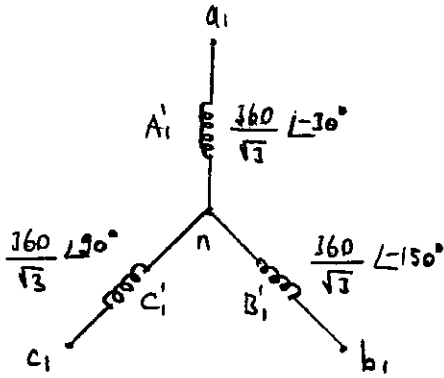
Δ -Y bağlantı durumunda,



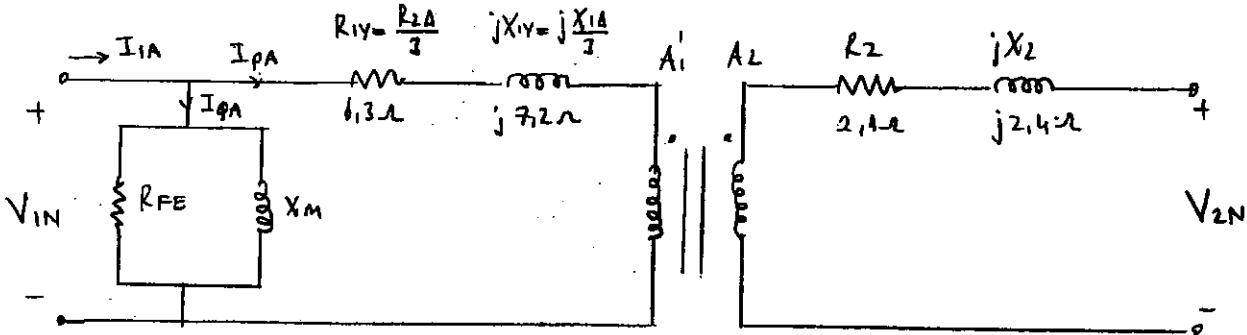
Bu durumda üç fazlı transformator şu şekilde tanımlanır:

$$a = \frac{N_1}{\sqrt{3} N_2}, \quad 2,16 \text{ kVA}, \quad 360/208 \text{ V}, \quad \Delta/Y$$

Böyle Δ -Y transformatorü Y-Y bağlantıya getirirsek;



Δ -Y \rightarrow Y-Y dönüşümünde empedansların değişimini tek bir transformatorün eşdeğer devresinde gösterirsek,



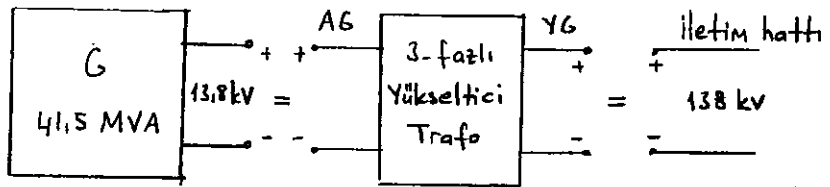
$$\frac{360 \text{ V}}{\sqrt{3}} / 120 \text{ V}, \quad a = 1,772$$

$$E_{1N} = a \cdot E_{2N} \angle -30^\circ$$

$$I_{1A} = \frac{1}{a} \cdot I_{2A} \angle -30^\circ$$

SORU: Bir fazlı üç adet transformatörden oluşmuş 3-fazlı yükseltici transformatör, fazarası gerilimi 13,8 kV olan bir generatör ile fazarası gerilimi 138 kV olan bir enerji iletim hattı arası bağlanmıştır. Generatörün görünür gücü 41,5 MVA 'dır. Bir fazlı transformatörlerden herbirinin akım, gerilim ve görünür güçlerini aşağıdaki bağlamalar için belirleyiniz.

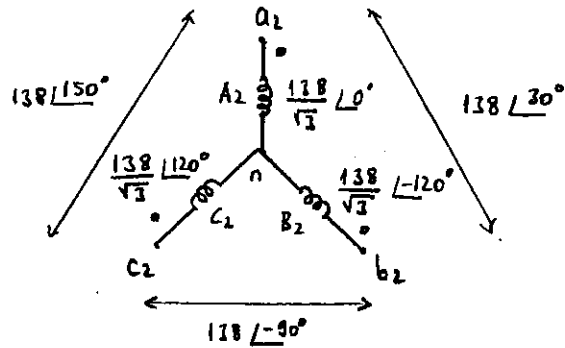
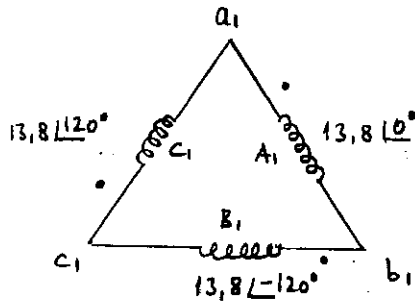
- Alt gerilim sargıları Δ , üst gerilim sargıları Y ,
- Alt gerilim sargıları Y , üst gerilim sargıları Δ
- Alt gerilim sargıları Y , üst gerilim sargıları Y ,
- Alt gerilim sargıları Δ , üst gerilim sargıları Δ



Tek fazlı transformatör için tüm bağlantılarda görünür güç:

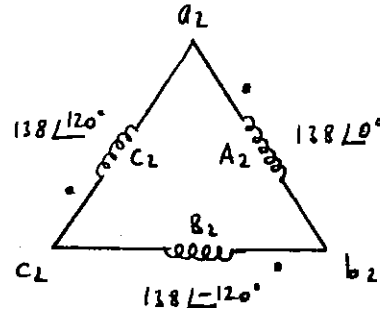
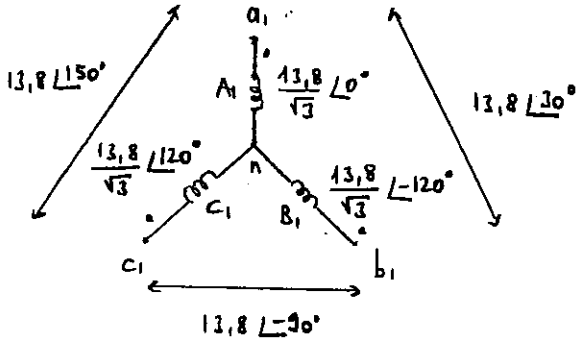
$$S_{\phi} = \frac{41,5}{3} = 13,833 \text{ MVA. 'dır.}$$

a) $\Delta - Y$ bağlantı durumunda,



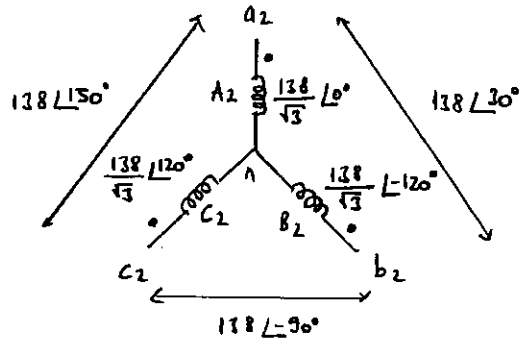
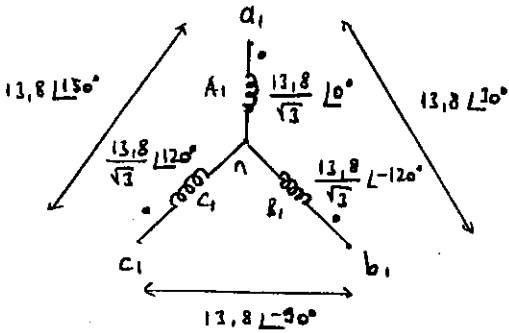
	AG	YG
Faz gerilimi :	13,8 kV	79,67 kV
Hat gerilimi :	13,8 kV	138 kV
Faz akımı :	1002,4 A	173,62 A
Hat akımı :	1736,2 A	173,62 A

b) Y-Δ bağlantı durumunda,



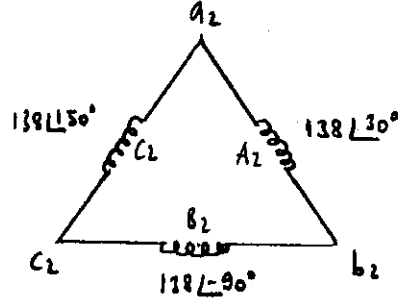
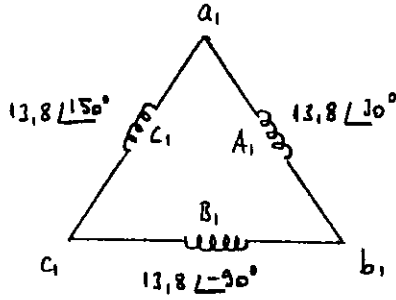
	<u>AG</u>	<u>YG</u>
Faz gerilimi :	7,967 kV	138 kV
Hat gerilimi :	13,8 kV	138 kV
Faz akımı :	1736,2 A	100,2 A
Hat akımı :	1736,2 A.	173,6 A.

c) Y-Y bağlantı durumunda,



	<u>AG</u>	<u>YG</u>
Faz gerilimi :	7,967 kV	79,67 kV
Hat gerilimi :	13,8 kV	138 kV
Faz akımı :	1736,2 A	173,6 A
Hat akımı :	1736,2 A	173,6 A.

d) Δ - Δ bağlantı durumunda,



	A6	Y6
Faz gerilimi :	13,8 kV	138 kV
Hat gerilimi :	13,8 kV	138 kV
Faz akımı :	1002,4 A.	100,2 A.
Hat akımı :	1736,2 A	173,62 A.

SORU: Anma değerleri 1000kVA , 11 / 3,3 kV olan 3. fazlı transformatorün birincil sargıları yıldız bağlı ikinci sargıları üçgen bağlıdır.

$$X_m = \infty, R_{FE} = \infty$$

Birincil sargının direnci = 0,375 ohm/faz

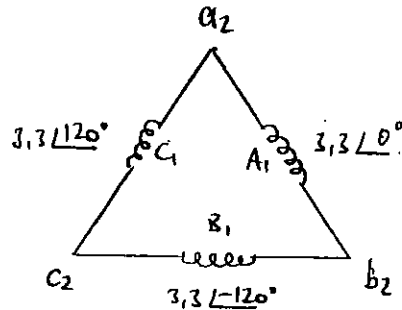
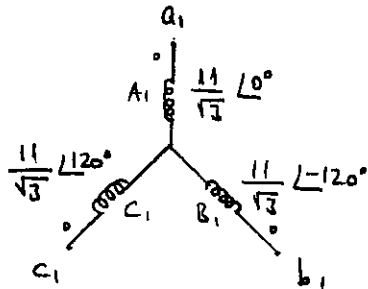
İkincil sargının direnci = 0,095 ohm/faz

Birincil sargının kaçak reaktansı = 9,5 ohm/faz.

İkincil sargının kaçak reaktansı = 2 ohm/faz.

İkincil sargı kısadevre edildiğinde , ikincil sargıdan tam yük akımının akması için , birincil sargılara uygulanması gereken fazarası gerilimi ve bu koşullardaki giriş gücünü bulunuz.

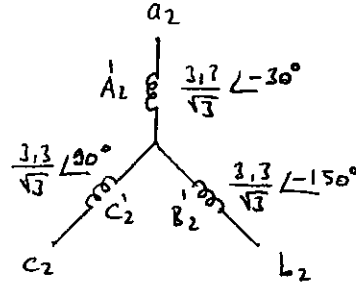
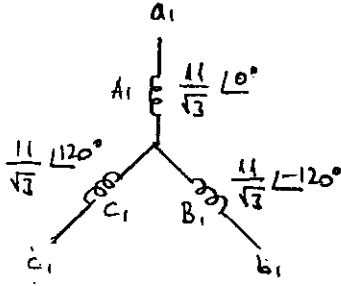
Y- Δ bağlantı durumunda;



Tek fazlı transformatör için görünür güç:

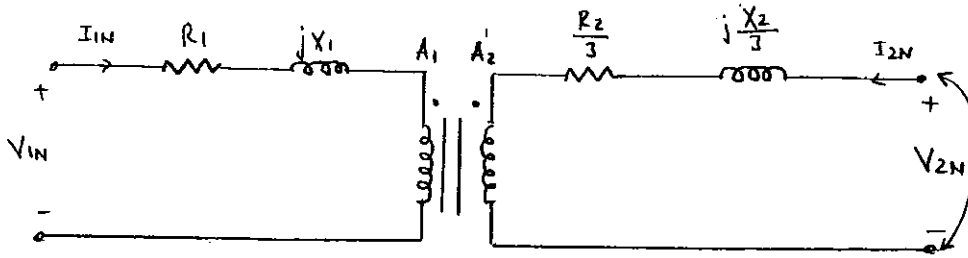
$$S_{\phi} = \frac{1000}{3} \text{ kVA.}$$

$\Delta \rightarrow Y$ dönüşümü yaparsak:

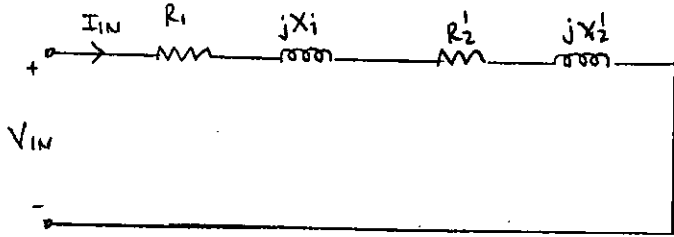


A fazına ilişkin eşdeğer devre:

$Z_Y = \frac{Z_{\Delta}}{3}$ dönüşümü yapılmalıdır.



$$\frac{11}{\sqrt{3}} \text{ V} / \frac{3,3}{\sqrt{3}} \text{ V} \quad a = \frac{11}{3,3}$$



$$I_{2N} = \frac{S_{\phi}}{V_{2N}} = \frac{1000 \cdot \sqrt{3}}{3 \cdot 3,3} = 174,995 \text{ A}$$

Bu akımı birincil tarafa indirirsek;

$$I_{1N} = \frac{1}{a} I_{2N} = \frac{3,3}{11} \cdot 174,995 = 52,4985 \text{ A.}$$

$$R_2' = a^2 \cdot \frac{R_2}{3} = \left(\frac{11}{3,3}\right)^2 \cdot \frac{0,095}{3} = 0,352 \Omega$$

$$X_2' = a^2 \cdot \frac{X_2}{3} = \left(\frac{11}{3,3}\right)^2 \cdot \frac{2}{3} = 7,407 \Omega$$

$$Z_T = (R_1 + R_2') + j(X_1 + X_2') = (0,375 + 0,352) + j.(9,5 + 7,407)$$

$$Z_T = 0,727 + j.16,907$$

$$Z_T = 16,923 \angle \varphi_1 = 87,56^\circ$$

$$V_{IN} = Z_T \cdot I_{IN} = 16,923 \cdot 52,4985 = 888,432 \text{ V faz gerilimi}$$

Bizden fazarası gerilim yani hat gerilimi isteniyor:

$$V_{IN}' = \sqrt{3} \cdot V_{IN} = \sqrt{3} \cdot 888,432 = 1538,81 \text{ V}$$

$$S_1 = \sqrt{3} \cdot U_{1h} \cdot I_{1h} = \sqrt{3} \cdot 1538,81 \cdot 52,4985 = 139,924 \text{ kVA}$$

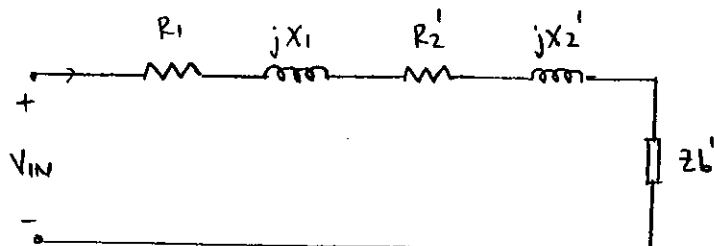
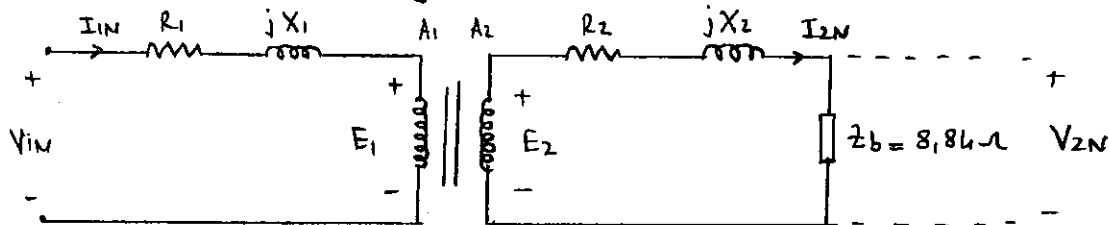
$$P_1 = S_1 \cdot \cos \varphi_1 = 139,924 \cdot \cos 87,54^\circ = 6,005 \text{ kW}$$

veya

$$P_1 = 3 \cdot R_1 \cdot I_1^2 = 3 \cdot 0,727 \cdot 52,4985^2 = 6,011 \text{ kW}$$

SORU: 30 kVA, 10/0,525 kV, 50 Hz, iki tarafı yıldız (Y-Y) bağlı üç fazlı bir transformatörde her faz için $R_1 = 43,2 \Omega$, $X_1 = 46,9 \Omega$, $R_2 = 0,12 \Omega$, $X_2 = 0,125 \Omega$ veriliyor. Her bir faz $8,84 \Omega$ 'lık bir empedansla 0,8 güç katsayısında yüklendiğinde birincil ve ikincil akımı, faz açısını, endüklenen gerilimi hesaplayınız. Birincil ve ikincil görünür, etkin, tepkin gücü bulunuz.

A fazına ilişkin eşdeğer devre:



$$a = \frac{10}{0,525} = 19,0476$$

$$a^2 = 362,812$$

$$R_{1k} = R_1 + a^2 R_2 = 43,2 + 362,812 \cdot 0,12 = 86,7 \Omega$$

$$X_{1k} = X_1 + a^2 X_2 = 46,9 + 362,812 \cdot 0,125 = 92,3 \Omega$$

$$Z_b = 8,84 \Omega, \cos \phi_2 = 0,8$$

$$R_b = Z_b \cdot \cos \phi_2 = 8,84 \cdot 0,8 = 7,072 \Omega$$

$$R_b' = a^2 \cdot R_b = 362,812 \cdot 7,072 = 2565,8 \Omega$$

$$X_b = Z_b \cdot \sin \phi_2 = 8,84 \cdot 0,6 = 5,304 \Omega$$

$$X_b' = a^2 \cdot X_b = 362,812 \cdot 5,304 = 1924,3 \Omega$$

$$Z_1 = Z_b' + Z_{1k} = 2565,8 + j1924,3 + 86,7 + j92,3$$

$$Z_1 = 3332 \Omega, \phi_1 = 37,2^\circ$$

$$U_1 = \frac{U_{1h}}{\sqrt{3}} = \frac{10000}{\sqrt{3}} = 5774 \text{ V}$$

$$I_1 = \frac{U_1}{Z_1} = \frac{5774}{3332} = 1,733 \text{ A}$$

$$I_2 = a \cdot I_1 = 19,0476 \cdot 1,733 = 33 \text{ A}$$

$$U_2 = Z_b \cdot I_2 = 8,84 \cdot 33 = 291,7 \text{ V}$$

$$U_{2h} = \sqrt{3} \cdot U_2 = \sqrt{3} \cdot 291,7 = 505 \text{ V}$$

$$Z_2 = Z_b + Z_{2r} = 7,072 + j5,304 + 0,12 + j0,125 = 7,192 + j5,429$$

$$Z_2 = 9,011 \Omega$$

$$E_2 = Z_2 \cdot I_2 = 9,011 \cdot 33 = 297,4 \text{ V}$$

$$E_1 = a \cdot E_2 = 19,0476 \cdot 297,4 = 5664 \text{ V}$$

$$S_1 = \sqrt{3} \cdot U_{1h} \cdot I_{1h} = \sqrt{3} \cdot 10 \cdot 1,733 = 30 \text{ kVA}$$

$$P_1 = S_1 \cdot \cos \phi_1 = 30 \cdot \cos 37,2^\circ = 23,886 \text{ kW}$$

$$Q_1 = S_1 \cdot \sin \phi_1 = 30 \cdot \sin 37,2^\circ = 18,138 \text{ kVAR}$$

veya

$$S_1 = 3 \cdot Z_1 \cdot I_1^2 = 3 \cdot 3332 \cdot 1,733^2 = 30 \text{ kVA}$$

$$P_1 = 3 \cdot R_1 \cdot I_1^2 = 3 \cdot 2652,5 \cdot 1,733^2 = 23,898 \text{ kW}$$

$$Q_1 = 3 \cdot X_1 \cdot I_1^2 = 3 \cdot 1956,6 \cdot 1,733^2 = 17,629 \text{ kVAR}$$

$$S_2 = \sqrt{3} \cdot U_{2h} \cdot I_{2h} = \sqrt{3} \cdot 505 \cdot 33 = 28,864 \text{ kVA}$$

$$P_2 = S_2 \cdot \cos \phi_2 = 28,864 \cdot 0,8 = 23,092 \text{ kW}$$

$$Q_2 = S_2 \cdot \sin \phi_2 = 28,864 \cdot 0,6 = 17,318 \text{ kVAR}$$

veya

$$S_2 = 3 \cdot Z_b \cdot I_2^2 = 3 \cdot 8,84 \cdot 33^2 = 28,880 \text{ kVA.}$$

$$P_2 = 3 \cdot R_b \cdot I_2^2 = 3 \cdot 7,072 \cdot 33^2 = 23,104 \text{ kW}$$

$$Q_2 = 3 \cdot X_b \cdot I_2^2 = 3 \cdot 5,306 \cdot 33^2 = 17,321 \text{ kVAR.}$$

SORU: 13 kVA, 2300 / 230 V, 50Hz'lik indirici bir transformatorün $R_1 = 4 \Omega$, $R_2 = 0,04 \Omega$, $X_1 = 12 \Omega$ ve $X_2 = 0,12 \Omega$ olarak veriliyor. Transformator %75 yükte çalışıyor. 0,866 leri güç faktörüyle yüklenen transformatorün, birincil ve ikincil akımları, sargılarda endüklenen gerilimleri, giriş ve çıkış etkin güçleri ve verimi bulunuz.

$$I_2 = \frac{S_2}{V_2} \cdot \% = \frac{23000}{230} \cdot 0,75 = 75 \text{ A.}$$

$$\cos \phi_2 = 0,866 \Rightarrow \phi = 30^\circ \text{ leri fazda olduğundan } I_2 = 75 \angle 30^\circ \text{ A.}$$

$$\text{Çevirme oranı} = a = \frac{V_{1N}}{V_{2N}} = \frac{2300}{230} = 10$$

$$\text{Birincil akım} = I_1 = \frac{1}{a} \cdot I_2 = 7,5 \angle 30^\circ \text{ A.}$$

İkincil sargı empedansı $Z_2 = R_2 + jX_2 = 0,04 + j0,12$ olduğuna göre;

$$E_2 = Z_2 \cdot I_2 + V_2 = (0,04 + j0,12) \cdot (75 \angle 30^\circ) + 230$$

$$E_2 = 228,287 \angle 2,23^\circ \text{ V}$$

Birincil sargıda endüklenen gerilim;

$$E_1 = a \cdot E_2 = 2282,87 \angle 2,23^\circ \text{ V}$$

$$V_1 = E_1 + Z_1 \cdot I_1 = 2282,87 \angle 2,23^\circ + (4 + j12) \cdot (7,5 \angle 30^\circ)$$

$$V_1 = 2269,578 \angle 4,17^\circ \text{ V}$$

Giriş gücü: $P_{in} = \text{Re} [V_1 \cdot I_1^*]$, $I_1^* = 7,5 \angle -30^\circ$

$$= \text{Re} [2269,578 \angle 4,17^\circ \cdot 7,5 \angle -30^\circ]$$

$$= 2269,578 \cdot 7,5 \cdot \cos -25,3 = 15389,14 \text{ W}$$

Çıkış gücü: $P_o = \text{Re} [V_2 \cdot I_2^*]$, $I_2^* = 75 \angle -30^\circ$

$$= \text{Re} [230 \cdot 75 \angle -30^\circ]$$

$$= 230 \cdot 75 \cdot \cos -30^\circ = 14938,94 \text{ W}$$

$$\text{Verim: } \eta = \frac{P_o}{P_{in}} = \frac{14938,94}{15389,14} \cdot 100 = \%97,1$$

SORU: 3-fazlı bir transformatörün bosta ve kısa devre çalışma deneylerinde aşağıdaki değerler bulunmaktadır.

$$\text{Bosta çalışma: } U_1 = 220V, I_{10} = 23A, P_o = 500W, U_{20} = 3000V$$

$$\text{Kısa devre: } U_k = 19,3V, I_k = 150A, P_k = 1250W$$

a) Primer tarafından görülen kısa devre dirençlerini bulunuz.

b) Bosta çalışmadaki gerilim düşümleri gözletildiğinde sarmal arasındaki oran ne kadardır?

c) R_2 ve X_2 'yi hesaplayınız.

d) Sekonder taraftan görülen kısa devre dirençlerini bulunuz.

$$a) P_k = U_k \cdot I_k \cdot \cos \phi_k$$

$$\cos \phi_k = \frac{P_k}{U_k \cdot I_k} = \frac{1250}{19,3 \cdot 150} = 0,432, \quad \sin \phi_k = 0,902$$

$$Z_k = \frac{U_k}{I_k} = \frac{19,3}{150} = 0,1287 \Omega$$

$$\left. \begin{aligned} R_k &= Z_k \cdot \cos \phi_k = 0,1287 \cdot 0,432 = 0,0556 \Omega \\ X_k &= Z_k \cdot \sin \phi_k = 0,1287 \cdot 0,902 = 0,116 \Omega \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{giris ve çıkış} \\ \text{paylastırılacak} \end{array}$$

$$R_1 = R_2' = 0,5 R_k = 0,02775 \Omega$$

$$X_1 = X_2' = 0,5 X_k = 0,058 \Omega$$

$$b) E_1 = V_1 - I_{10} \cdot X_1 = 220 - 23 \cdot 0,058 = 218,67 V$$

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{E_2}{E_1} = \frac{3000}{218,67} = 13,7$$

$$c) R_2 = R_2' \cdot \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2 = 0,02775 \cdot 13,7^2 = 5,2 \Omega$$

$$X_2 = X_2' \cdot \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2 = 0,058 \cdot 13,7^2 = 10,9 \Omega$$

$$d_1) R_k = R_2 + R_1' = R_2 + R_1 \cdot \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2 = 5,2 + 0,02775 \cdot 13,7^2 = 10,4 \Omega$$

$$X_k = X_2 + X_1' = X_2 + X_1 \cdot \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2 = 10,9 + 0,058 \cdot 13,7^2 = 21,8 \Omega$$

SORU: Sanal güç 20kVA olan Y/Y bağlamalı 220/110 V, 50Hz, 3-fazlı transformatorün kısa devre durumunda $V_k=16V$, $I_k=60A$, $P_k=335W$ olarak ölçülüyor. Sekonder tarafına $z=0,3+j1,6 \Omega$ olan yıldız bağlı yük uygulanıyor. Primer ve sekonder akımları ile görünür, etkin ve tepkin güçleri bulunuz.

$$P_k = \sqrt{3} \cdot U_k \cdot I_k \cdot \cos \phi_k$$

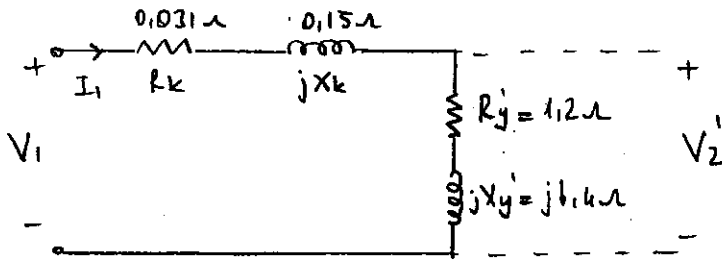
$$\cos \phi_k = \frac{P_k}{\sqrt{3} \cdot U_k \cdot I_k} = \frac{335}{\sqrt{3} \cdot 16 \cdot 60} = 0,20147, \quad \sin \phi_k = 0,97949$$

$$z_k = \frac{U_k}{\sqrt{3} \cdot I_k} = \frac{16}{\sqrt{3} \cdot 60} = 0,15396 \Omega$$

$$R_k = z_k \cdot \cos \phi_k = 0,15396 \cdot 0,20147 = 0,031 \Omega$$

$$X_k = z_k \cdot \sin \phi_k = 0,15396 \cdot 0,97949 = 0,15 \Omega$$

Yükü esdeğer devrede birincil trafoya indirirsek;



$$z_y = 0,3 + j1,6$$

$$a = \frac{220}{110} = 2$$

$$R_y' = a^2 \cdot R_y = 1,2 \Omega$$

$$X_y' = a^2 \cdot X_y = 6,4 \Omega$$

Toplam empedans:

$$Z_T = (0,031 + 1,2) + j(0,15 + 6,4) = 1,231 + j6,5 = 6,665 \angle 79,36' \Omega$$

$$\text{Primer akımı: } I_1 = \frac{U_1}{\sqrt{3} Z_T} = \frac{220}{\sqrt{3} \cdot 6,665} = 19,057 \text{ A.}$$

$$\text{Sekonder akımı: } I_2 = a I_1 = 2 \cdot 19,057 = 38,114 \text{ A.}$$

$$\phi_1 = 79,36^\circ$$

$$\cos \phi_1 = 0,1847 \quad , \quad \sin \phi_1 = 0,9828$$

$$\phi_2 = 79,38^\circ$$

$$\cos \phi_2 = 0,1843 \quad , \quad \sin \phi_2 = 0,9829$$

$$S_1 = \sqrt{3} \cdot U_{1h} \cdot I_{1h} = \sqrt{3} \cdot 220 \cdot 19,057 = 7261,69 \text{ VA.}$$

$$P_1 = S_1 \cdot \cos \phi_1 = 7261,69 \cdot 0,1847 = 1341,23 \text{ W}$$

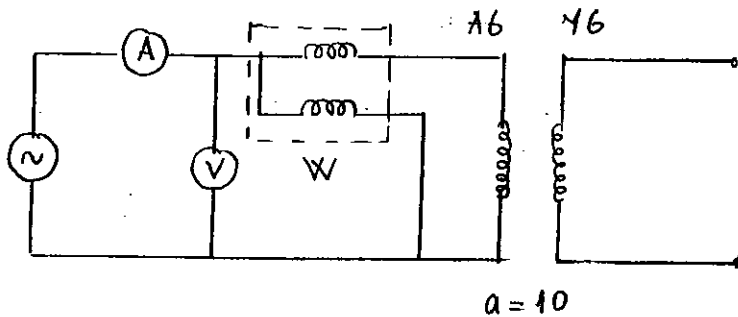
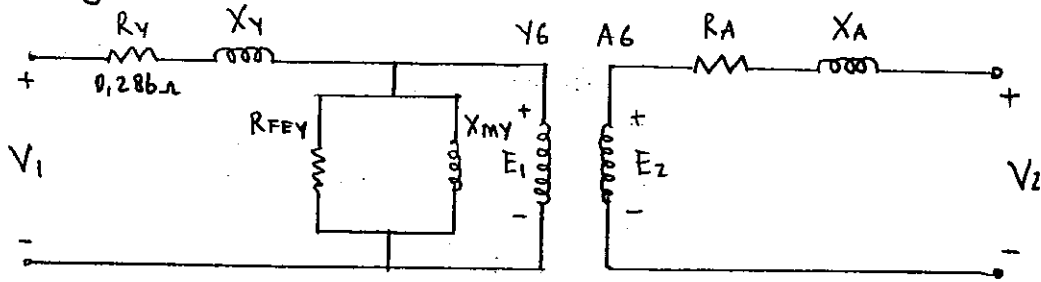
$$Q_1 = S_1 \cdot \sin \phi_1 = 7261,69 \cdot 0,9828 = 7136,79 \text{ VAR.}$$

$$S_2 = \sqrt{3} \cdot U_{2h} \cdot I_{2h} = \sqrt{3} \cdot 110 \cdot 38,114 = 7261,69 \text{ VA.}$$

$$P_2 = S_2 \cdot \cos \phi_2 = 7261,69 \cdot 0,1843 = 1338,33 \text{ W}$$

$$Q_2 = S_2 \cdot \sin \phi_2 = 7261,69 \cdot 0,9829 = 7137,52 \text{ VAR.}$$

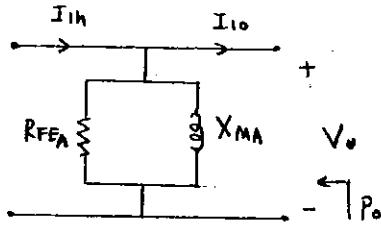
SORU: 2,2kV / 220V, 100kVA lık tek fazlı bir transformatorün alt gerilim yanında yapılan bosta çalışma deneyinde 220V, 18A, 980W ve üst gerilim yanında yapılan kısadevre deneyinde 70V, 45,5A, 1050W ölçüldüğü. Birincil sargı direnci 0,286 ohm olduğuna göre, transformatorün T esdeğer devresindeki parametreleri belirleyiniz.



$$V_0 = 220 \text{ V}$$

$$I_0 = 18 \text{ A}$$

$$P_0 = 980 \text{ W}$$



$$R_{FEA} = \frac{V_o^2}{P_o} = \frac{220^2}{980} = 49,388 \Omega$$

$$S_o = V_o \cdot I_o = 220 \cdot 18 = 3960 \text{ VA}$$

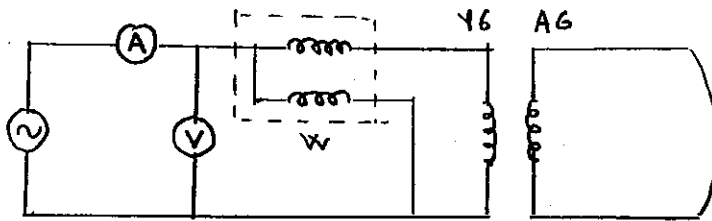
$$Q_o = \sqrt{S_o^2 - P_o^2} = \sqrt{3960^2 - 980^2} = 3836,82 \text{ VAR}$$

$$X_{MA} = \frac{V_o^2}{Q_o} = \frac{220^2}{3836,82} = 12,615 \Omega$$

R_{FEA} ve X_{MA} 'yi birincile indirgersek;

$$R_{FEY} = a^2 \cdot R_{FEA} = 4938,8 \Omega$$

$$X_{MY} = a^2 \cdot X_{MA} = 1261,5 \Omega$$



$$V_k = 70 \text{ V}$$

$$I_k = 45,5 \text{ A}$$

$$P_k = 1050 \text{ W}$$

$$R_{ky} = \frac{P_k}{I_k^2} = \frac{1050}{45,5^2} = 0,5072 \Omega$$

$$R_{ky} = R_y + a^2 R_A$$

$$0,5072 = 0,286 + 100 \cdot R_A \Rightarrow R_A = 2,21 \text{ m}\Omega$$

$$Z_{ky} = \frac{V_k}{I_k} = \frac{70}{45,5} = 1,538 \Omega$$

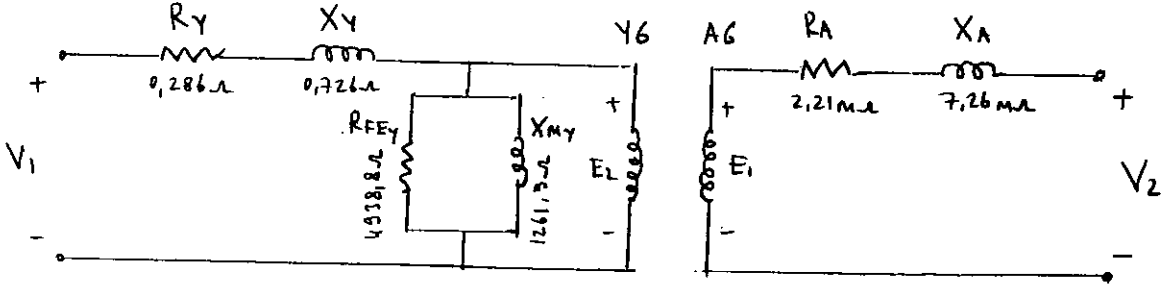
$$X_{ky} = \sqrt{Z_{ky}^2 - R_{ky}^2} = \sqrt{1,538^2 - 0,5072^2} = 1,452 \Omega$$

X_{ky} 'yi girise ve ağırla paylaştıracğız:

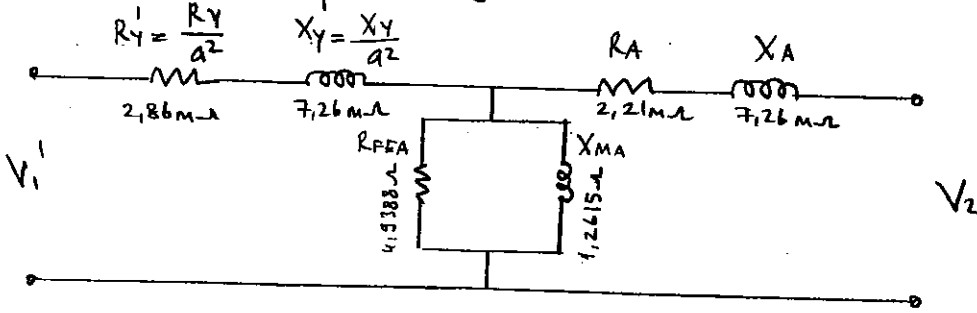
$$X_{ky} = X_y + a^2 X_A$$

$$X_y = 0,5 X_{ky} = 0,726 \Omega$$

$$X_A = \frac{0,5 \cdot X_{ky}}{a^2} = 7,26 \text{ m}\Omega$$



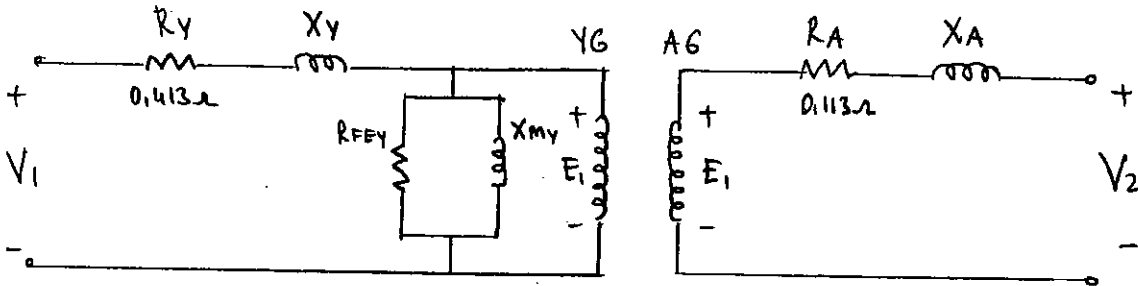
Kısa indirgenmiş T eşdeğer devresi:



SORU: 1,5 kVA, 220 V/110 V, 50 Hz 'lik tek fazlı transformator üzerinde yapılan ölçümlerden AG sargı direnci 0,113 Ω ve YG sargı direnci 0,413 Ω bulunmuştur. AG sargıları beslenerek yapılan açık devre deneyinde gerilim 110 V akım 0,4 A ve güç girişi 25 W okunmuştur. AG sargıları beslenerek yapılan kısa devre deneyinde ise gerilim 8,25 V akım 13,6 A okunmuştur.

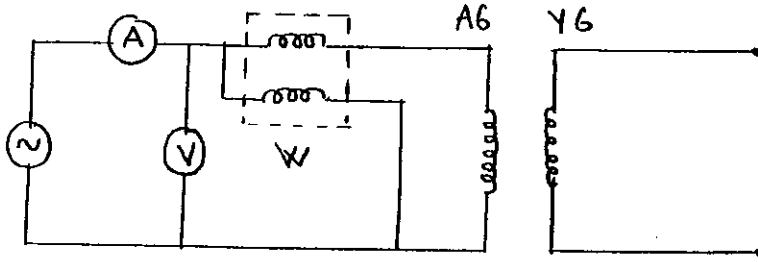
a) Transformatorün AG tarafına indirgenmiş eşdeğer devre parametrelerini bulunuz. Bulduğunuz bu değerleri eşdeğer devre üzerinde gösteriniz.

b) Transformator 110 V 'luk 0,8 endüktif güç katsayılı tam yükü beslerken verimi ne kadardır.?



$$a = \frac{220}{110} = 2$$

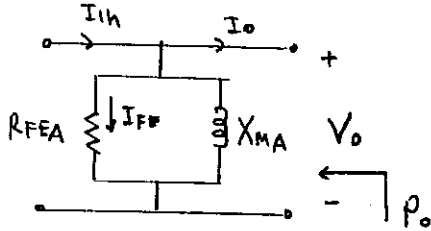
Açık devre deneyi:



$$V_0 = 110 \text{ V}$$

$$I_0 = 0,4 \text{ A}$$

$$P_0 = 25 \text{ W}$$



$$R_{FEA} = \frac{V_0^2}{P_0} = \frac{110^2}{25} = 484 \Omega$$

$$S_0 = V_0 \cdot I_0 = 110 \cdot 0,4 = 44 \text{ VA}$$

$$Q_0 = \sqrt{S_0^2 - P_0^2} = \sqrt{44^2 - 25^2} = 36,208 \text{ VAR}$$

$$X_{MA} = \frac{V_0^2}{Q_0} = \frac{110^2}{36,208} = 334,18 \Omega$$

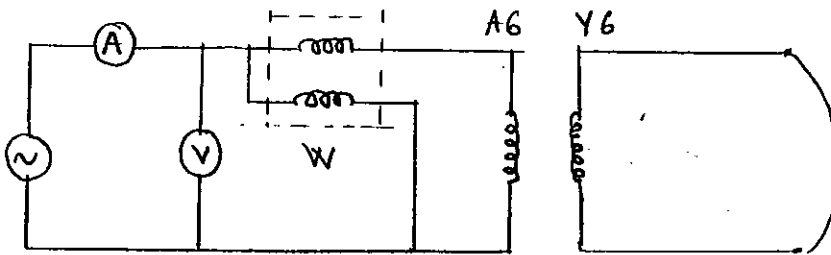
R_{FEA} ve X_{MA} kısaca indirgenmiş değerlerdir. Giriş tarafındaki yani Y6 tarafındaki değerler;

$$R_{FEY} = a^2 \cdot R_{FEA}$$

$$X_{MY} = a^2 \cdot X_{MA}$$

işlemleri uygulanarak elde edilir.

Kısa devre deneyi:



$$V_k = 8,25 \text{ V}$$

$$I_k = 13,6 \text{ A}$$

$$R_{kA} = R_A + \frac{1}{a^2} R_Y = 0,113 + \frac{1}{4} \cdot 0,413 = 0,21625 \Omega$$

$$Z_{kA} = \frac{V_k}{I_k} = \frac{8,25}{13,6} = 0,607 \Omega$$

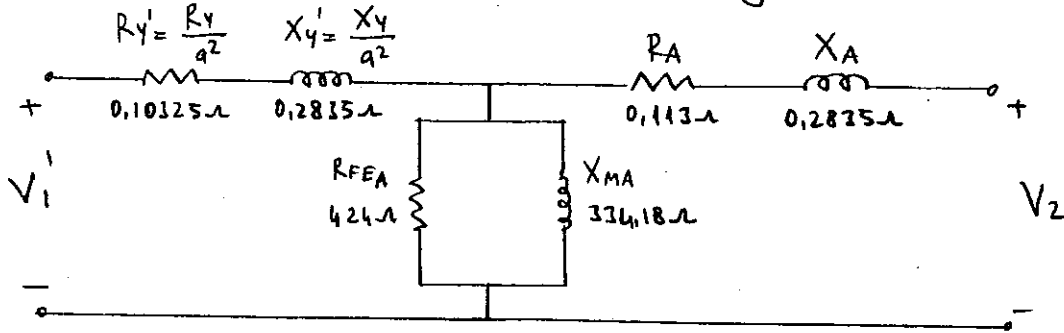
$$X_{kA} = \sqrt{Z_{kA}^2 - R_{kA}^2} = \sqrt{0,607^2 - 0,2162^2} = 0,567 \Omega$$

$$X_{kA} = X_A + \frac{1}{a^2} X_Y$$

$$X_A = 0,5 X_{kA} = 0,2835 \Omega$$

$$X_Y = 0,5 \cdot a^2 \cdot X_{kA} = 1,134 \Omega$$

AG tarafına (kısa) indirgenmiş eşdeğer devre:



b) $P_0 = 25 \text{ W} = P_{FE}$

$$P_K = I_K^2 \cdot R_{KA} = 13,6^2 \cdot 0,21625 = 40 \text{ W} = P_{Cu}$$

Tam yükte verim : $\cos \phi_2 = 0,8$ ve $x = 1$

Çıkış gücü : $P_{2x} = x \cdot S_N \cdot \cos \phi_2 = 1 \cdot 1,5 \cdot 0,8 = 1,2 \text{ kW}$

Kayıp güç : $P_x = P_0 + x^2 P_K = 25 + 1^2 \cdot 40 = 65 \text{ W}$

Giriş gücü : $P_{1x} = P_x + P_{2x} = 0,065 + 1,2 = 1,265 \text{ kW}$

Verim : $\eta = \frac{P_{2x}}{P_{1x}} = \frac{1,2}{1,265} \cdot \% 100 = \% 94,86$

SORU: Üç fazlı 600 kVA, 11000/660 V, Y/Δ transformatör üzerinde yapılan deney sonuçları şöyledir.

Bosta çalışma deneyi: 660 V, 16 A, 4,8 kW (AG sargılarından)

Kısa devre deneyi: 500 V, 30 A, 8,2 kW (YG sargılarından)

Birincil sargıya indirgenmiş eşdeğer devre parametrelerini bulunuz. Ayrıca ikincil sargı uçlarının tam yük akımı 0,8 endüktif güç katsayısında akken bir yük bağlandığında akımları hesaplayınız.