

**Örnek** Dönme hareketi yapan bir elektrostatik dönüştürücünün kapasitesi  $C = (V\phi)^3 + V\cos\phi$   
 Farad'tır. burada  $V \rightarrow$  volt  $\phi \Rightarrow$  radyan cinsinden hareketli kısmın belli bir frekansa göre konumunu belirleyen açıdır. www.oguzhancakmak.com.tr

- a) sistemde depo edilen enerji  $V=5V$   $\phi = \pi/3$  rad. iken belirle  
 b) a) sikkindeki koşullarda hareketli parçaya etkiyen momenti bul.

$\lambda \Leftrightarrow v$   $q = C \cdot V$  den  $q = V^4 \phi^3 + V^2 \cos\phi$  olur  
 $\lambda \Leftrightarrow q$   
 $L \Leftrightarrow C$  varsayılsa

sistemin doğrusallığı için  $\frac{q}{V} = C = V^3 \phi^3 + V \cos\phi$  olduğundan açıya göre değişen doğrusal olmayan bir sistemdir.

$$W_c = \int_0^V q \, dV \Leftrightarrow W_c = \int_0^i \lambda \, di = \int_0^V (V^4 \phi^3 + V^2 \cos\phi) \, dV = \frac{V^5}{5} \phi^3 + \frac{V^3}{3} \cos\phi \Big|_0^V$$

$$\Rightarrow W_c = \frac{V^5}{5} \phi^3 + \frac{V^3}{3} \cos\phi \text{ olur}$$

$$W = \lambda I - W_c \Leftrightarrow W = q \cdot V - W_c \Rightarrow W = \frac{4}{5} V^5 \phi^3 + \frac{2}{3} V^3 \cos\phi \Rightarrow W = 2912,6 \text{ J}$$

$V=5V$  ve  $\phi = \frac{\pi}{3}$  için

b) Moment  $W_c$ 'nin  $\phi$ 'ya göre türeviyle bulunur.

$$M_e = \frac{\partial W_c(V, \phi)}{\partial \phi} \Rightarrow M_e = \frac{\partial}{\partial \phi} \left( \frac{4}{5} V^5 \phi^3 + \frac{2}{3} V^3 \cos\phi \right) \Rightarrow M_e = 2020,08 \text{ Nm}$$

**Örnek**  $\lambda(i, x) = \frac{4(1 - e^{-2i})}{1 + x^2}$   $I_1 = 0,5A$   $x_1 = 1m$  iken  $x_2 = 2m$  kadar oteleniyon

- a) sistemde biriken enerjiyi b)  $W_c$  ve  $F_e = ?$  c) kuvvetin  $x_1 = 1m$  ve  $x_2 = 2m$ 'deki değerini hesapla. d) Magnetik enerji ve  $W_c$ 'yi karşılaştır ve yorumla

$$W = \int_{x_1}^{x_2} i \, d\lambda \quad \lambda = \frac{4(1 - e^{-2I})}{1 + x^2} \Rightarrow 1 - \frac{\lambda(1 + x^2)}{4} = e^{-2I} \quad I = \frac{1}{2} \ln \left[ -\frac{\lambda(1 + x^2)}{4} + 1 \right]$$

$x=1$  için  $\lambda(i, 1) = 2(1 - e^{-2I})$   $x=2$  için  $\lambda_2(i, 2) = 0,8(1 - e^{-2I})$

$x=1$ deki enerji  $W(i, 1) = I \cdot \lambda_1 - \int_0^I \lambda(i, 1) \, di \Rightarrow I \lambda_1 - \int_0^I 2(1 - e^{-2i}) \, di$

$$I \cdot \lambda_1 - 2I + (1 - e^{-2I}) = 0,5 \cdot [2(1 - e^{-2 \cdot 0,5})] - 2(0,5) + (1 - e^{-2 \cdot 0,5})$$

$$W(i, 1) = 0,264 \text{ J}$$

$x=2$  için  $W(i, 2) = I \lambda_2 - \int_0^I \lambda(i, 2) \, di = I \lambda_2 - \int_0^I \frac{4}{5} (1 - e^{-2i}) \, di$

$$I \lambda_2 - \frac{4}{5} I + \frac{2}{5} (1 - e^{-2I}) = 0,5 \left[ \frac{4}{5} (1 - e^{-2 \cdot 0,5}) \right] - \frac{4}{5} \cdot 0,5 + \frac{2}{5} (1 - e^{-2 \cdot 0,5})$$

$$W(i, 2) = 0,1056 \text{ J}$$

Sistemdeki enerji artışı  $\Delta W = W(i, 1) - W(i, 2) = 0,1584 \text{ J}$

$$b) W_c = \int_0^I \lambda(i, x) di = \int \frac{4(1-e^{-2i})}{1+x^2} di = \frac{4}{1+x^2} \int_0^I \lambda(i, x) di$$

$$\frac{4}{1+x^2} \left[ I + \frac{1}{2} e^{-2I} - \frac{1}{2} \right] \Rightarrow \text{kuvvet ifadesi } F_c = \frac{\partial W_c(i, x)}{\partial x}$$

$$\Rightarrow \text{türevden } \frac{-8}{1+x^2} \left[ I + \frac{1}{2} e^{-2I} - \frac{1}{2} \right] \text{ den}$$

$$F_c(0,5,1) = -0,0679 \text{ N}$$

$$F_c(0,5,2) = -0,1174 \text{ N}$$

12



iki elektriksel ve iki mekanik kapısı olan bir dönüştürücüde

$$I_1 = X_1 + \sin X_1 \lambda_1 + \cos X_2 \lambda_2 \quad I_2 = X_2 + \cos X_1 \lambda_1 + \sin X_2 \lambda_2 \quad \text{verilmiştir}$$

a)  $W_c = ?$  b) mekanik kapılara etkiyen kuvvet = ?

$$W = \int_0^{\lambda_1} I_1(\lambda_1, \lambda_2 = 0, X_1, X_2) d\lambda_1 + \int_0^{\lambda_2} I_2(\lambda_1 = \text{abit}, \lambda_2, X_1, X_2) d\lambda_2$$

$$= \int_0^{\lambda_1} [X_1 + \sin X_1 \lambda_1 + 1] d\lambda_1 + \int_0^{\lambda_2} [X_2 + \cos X_1 \lambda_1 + \sin X_2 \lambda_2] d\lambda_2$$

$$= \left[ X_1 \lambda_1 - \frac{1}{X_1} \cos X_1 \lambda_1 + \lambda_1 \right] \Big|_0^{\lambda_1} + \left[ X_2 \lambda_2 + \lambda_2 \cos X_1 \lambda_1 - \frac{1}{X_2} \cos X_2 \lambda_2 \right] \Big|_0^{\lambda_2}$$

$$= X_1 \lambda_1 - \frac{1}{X_1} \cos X_1 \lambda_1 + \lambda_1 + \frac{1}{X_1} + X_2 \lambda_2 + \lambda_2 \cos X_1 \lambda_1 - \frac{1}{X_2} \cos X_2 \lambda_2 + \frac{1}{X_2}$$

$$\Rightarrow W = X_1 \lambda_1 + X_2 \lambda_2 + \frac{1}{X_1} + \frac{1}{X_2} - \frac{1}{X_1} \cos X_1 \lambda_1 - \frac{1}{X_2} \cos X_2 \lambda_2 + \lambda_1 + \lambda_2 \cos X_1 \lambda_1$$

$$W_c = I_1 \lambda_1 + I_2 \lambda_2 - W$$

$$\Rightarrow W_c = \lambda_1 \sin X_1 \lambda_1 + \lambda_1 \cos X_2 \lambda_2 + \lambda_2 \sin X_2 \lambda_2 - \frac{1}{X_1} - \frac{1}{X_2} + \frac{1}{X_2} \cos X_1 \lambda_1 + \frac{1}{X_2} \cos X_2 \lambda_2 - \lambda_1$$

$$b) F_c = \frac{-\partial W}{\partial X_1} = - \left[ \lambda_1 - \frac{1}{X_1^2} + \frac{1}{X_2} \cos X_1 \lambda_1 + \frac{\lambda_1}{X_1} \sin X_1 \lambda_1 - \lambda_1 \lambda_2 \sin X_1 \lambda_1 \right]$$

$$F_{c1} = - \lambda_1 + \frac{1}{X_1^2} - \frac{1}{X_2} \cos X_1 \lambda_1 - \frac{1}{X_1} \lambda_1 \sin X_1 \lambda_1 + \lambda_1 \lambda_2 \sin X_1 \lambda_1$$

$$F_{c2} = \frac{-\partial W}{\partial X_2} = - \left[ \lambda_2 - \frac{1}{X_2^2} + \frac{1}{X_2} \cos X_2 \lambda_2 + \frac{1}{X_2} \lambda_2 \sin X_2 \lambda_2 \right]$$

Örnek: Bir motorun eylemsizlik momenti  $0,2 \text{ kgm}^2$ . Sürtünme katsayısı  $0,02 \text{ Nm s/rad}$  dır. Motor  $40 \text{ Nm}$  lik sabit bir yükü sürmektedir. Motor sürekli hıza erişinceye kadar yardımcı bir düzenele, sabit bir akım çekmesi sağlanmaktadır. ve Motor  $44 \text{ Nm}$  lik sabit bir moment üretmektedir. Motorun bakır kayıpları sabit ve tam hızdaki sürtünme kayıplarına eşittir. Motor başlangıçta durumdur.

a.) Motorun hızını zaman işlevi olarak bul.

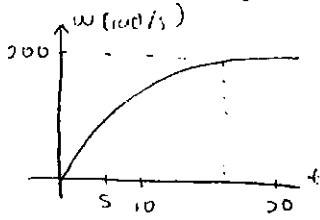
devinim denkleminde  $M_e = J \frac{dw}{dt} + Bw + M_y \Rightarrow 44 = 0,2 \frac{dw}{dt} + 0,02w + 40$

$\Rightarrow \frac{dw}{dt} + 0,1w = 20$  Laplace dan  $s w(s) - w(0) + 0,1 w(s) = \frac{20}{s}$

$= w(s) (s + 0,1) = \frac{20}{s}$   $w(s) = \frac{20}{s(s+0,1)} \Rightarrow \frac{a}{s} + \frac{b}{s+0,1}$   $a=200$   $b=-200 \Rightarrow \frac{200}{s} - \frac{200}{s+0,1}$

$w(t) = 200 - 200e^{-0,1t} = 200(1 - e^{-0,1t}) \text{ rad/s}$

b.) hızın zamana göre değişim grafiği.



c.) Motorun sürekli durum hızı nedir?  $w = 200(1 - e^{-0,1t}) \text{ rad/s}$   $t = \infty$  verildiğinde 200 bulunur veya grafik yardımıyla bulunur.

d.) Motorun sürekli durumdaki güç çıkışı?  $P = M_y w = 40 \cdot 200 = 8000 \text{ W}$

e.) sürtünme ve bakır kayıpları?  $\Rightarrow$  sürtünmeden dolayı gelen moment ile açısal hızı çarpılır.  $Bw = 0,02 \cdot 200^2 = 800 \text{ W}$

f.) Demir kayıplarını sürekli durumdaki sürtünme kayıplarının yarısı olarak hesapla?  $P_{Fe} = 0,5 \cdot 800 = 400 \text{ W}$

g.) Motorun sürekli durumdaki güç girişini bul?  $= 8000 \text{ W} + 800 + 800 + 400 = 10000 \text{ W}$   
güç girişi + sürtünme kayıpları + Bakır kayıpları + Demir kayıpları

h.) sürekli durumdaki verim?  $= \frac{8000}{10000} = \%80$

i.) sürekli durumda rotorda depo edilen enerji?  $E = \frac{1}{2} J w^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,2 \cdot 200^2 = 4000 \text{ Joule}$

Örnek Bir motorun eylemsizlik momenti  $0,1 \text{ kgm}^2$  dir. sürtünme katsayısı  $0,04 \text{ Nm s/rad}$  dir. Motor  $5 \text{ Nm}$  lik sabit bir yükü sürmektedir. motor  $15 \text{ Nm}$  lik sabit bir moment üretmektedir. Motor  $250 \text{ rad/sn}$  lik bir hıza dönmekte iken motorun ürettiği momentin yönü değiştirilerek frenleme yapılmaktadır.

a.) Motorun hızını zamanın işlevi olarak bul  $w(0) = 250 \text{ olur}$

$-M_e = J \frac{dw}{dt} + Bw + M_y \Rightarrow -15 = 0,1 \frac{dw}{dt} + 0,04w + 5 \Rightarrow \frac{dw}{dt} + 0,4w = -200$

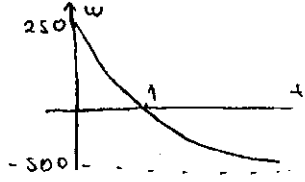
$w = 500(1,5e^{-0,4t} - 1) \text{ rad}$

b.) 1 saniyede motorun rotorunda depo edilen enerji  $E = \frac{1}{2} J w^2 \Rightarrow \frac{1}{2} \cdot 0,1 \cdot 2,7^2 = 0,3645 \text{ Joule}$   
 $t = 1 \text{ s}$  için  $w = 2,7 \text{ rad/s}$  olur.

c) Motor hangi anda durur? Motorun durması için  $\omega = 0$  olmalı

$$0 = 500(1.5e^{-0.4t} - 1) \Rightarrow t = 1,0127 \text{ saniye}$$

d) Motor hızının zamana göre değ. grafiği?



e) motor sürekli durumda hangi hızda hangi yöne döner

$$t \rightarrow \infty \text{ için } \omega = -500 \text{ rad/s}$$

2

Örnek:  $\lambda = 5i \sin 7t + 9j$   $L = \frac{\lambda}{i}$   $L = 5 \sin 7t + 9$  (zamanla değişen doğrusal sistem)  
 $\lambda = 3i \cos 2i + 7j$   $L = \frac{\lambda}{i}$   $L = 3 \cos 2i + 7$  (zam. değişmeyen " olmayan sis)  
 $\lambda = 9i \ln 5i + 7j \sin t$   $L = \frac{\lambda}{i}$   $L = 9 \ln 5i + \frac{7}{i} \sin t$  (zam. değişen " " " " )

Örnek:  $\phi = 0,2 \sin 200t$  [wb] iken  $P_{hi} = 20W$   $P_{g1} = 30W$   
 $\phi = 0,3 \sin 100t + 0,1 \sin 300t$  [wb] iken  $P_{Fe} = ?$   $n = 16$

$$\phi_{1m} = 0,2 \quad 2\pi f = 200 \text{ den } F_1 = \frac{100}{\pi}$$

$$\phi_{2m} = 0,3 \quad \text{ve } \phi_{22m} = 0,1$$

$$F_2 = \frac{50}{\pi} \quad F_{22} = \frac{150}{\pi}$$

$$B_{m1} = \frac{\phi_{m1}}{A}$$

$$\frac{P_{h1}}{P_{h2}} = \frac{K_h \cdot F \cdot B_m^n}{K_h \cdot F \cdot B_m^n} \Rightarrow \frac{20}{P_{h2}} = \frac{K_h \cdot \frac{100}{\pi} \cdot \left(\frac{0,2}{A}\right)^{1,6}}{K_h \cdot \left[\frac{50}{\pi} \cdot \frac{0,3^n}{A} + \frac{150}{\pi} \cdot \left(\frac{0,1}{A}\right)^n\right]} \Rightarrow P_{h2} = 29,028W$$

$$\frac{P_{g1}}{P_{g2}} = \frac{K_g \cdot F^2 \cdot B_m^2}{K_g \cdot F^2 \cdot B_m^2} \Rightarrow \frac{30}{P_{g2}} = \frac{K_g \cdot \left[\left(\frac{100}{\pi}\right)^2 \cdot \left(\frac{0,2}{A}\right)^2\right]}{K_g \cdot \left[\frac{50}{\pi}^2 \cdot \left(\frac{0,3}{A}\right)^2 + \left(\frac{150}{\pi}\right)^2 \cdot \left(\frac{0,1}{A}\right)^2\right]} \Rightarrow P_{g2} = 33,75W$$

$$P_{Fe} = P_{h2} + P_{g2} \Rightarrow 62,778W$$

Kayıpsız bir elektromekanik düzeneğin sargısını ilişkin denklem  $L = \frac{i}{x} + \frac{x}{i}$   
 $x = 10e^{-t}$  (m) hareketli parçanın sabit bir noktaya göre yerleştirilmiştir.

$$I = 20 \sin \omega t \text{ (A)} \quad \omega = 3 \text{ rad/s} \quad t = 1,2 \text{ s}$$

a) sargıda endüklenen gerilim  
 b) Alanda biriken enerji

a) Faraday yasasına  $e = \frac{d\lambda}{dt}$   $\lambda = L \cdot i \Rightarrow \lambda = \frac{i^2}{x} + x$  olur.  $e = \frac{d}{dt} \cdot \left(\frac{i^2}{x} + x\right)$   

$$e = \frac{2i}{x} \cdot \frac{di}{dt} - \frac{i^2}{x^2} \cdot \frac{dx}{dt} + \frac{dx}{dt}$$

$$I = 20 \sin \omega t$$

$$\frac{dI}{dt} = 60 \cos 3t = 59,88$$

$$\Rightarrow e = \frac{2 \cdot 20 \sin 3t}{10 \cdot e^{-t}} \cdot 60 \cos 3t - \left(\frac{20 \sin 3t}{10 \cdot e^{-t}}\right)^2 \cdot (-10e^{-t}) - 10e^{-t}$$

$$x = 10e^{-t} \Rightarrow \frac{dx}{dt} = -10e^{-t}$$

$$e = 12,55 \text{ V}$$

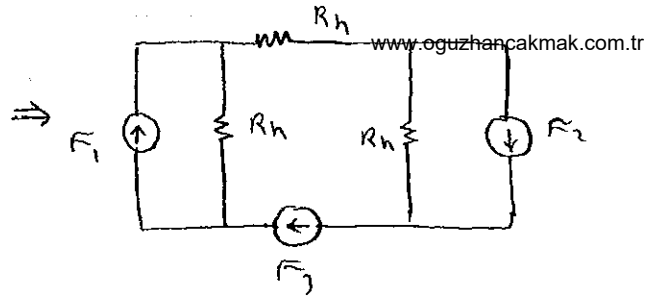
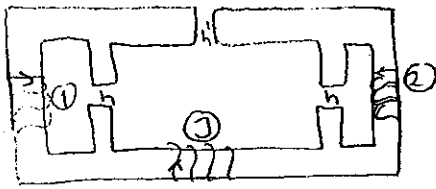
b)  $\omega c = \int_0^i \lambda di = \int_0^i \left(\frac{i^2}{x} + x\right) di = \left|\frac{i^3}{3x} + xi\right| = \frac{i^3}{3x} + xi \Rightarrow \omega = i\lambda - \omega c$  den

$$i \left(\frac{i^2}{x} + x\right) - \left(\frac{i^3}{3x} + xi\right) = \frac{2}{3} \frac{i^3}{x}$$
 olur  $t = 1,2$  için  $\omega = \frac{2}{3} \cdot \frac{(20 \sin 3,6)^2}{10e^{-1,2}} = 0,405 \text{ Joule}$

$$F = -\frac{d\omega}{dx} = -\frac{d}{dx} \cdot \left(\frac{2}{3} \frac{i^3}{x}\right) = \frac{2}{3} \frac{i^3}{x^2} = \frac{2}{3} \frac{(20 \sin 3,6)^2}{(10e^{-1,2})^2} = 0,165 \text{ N}$$

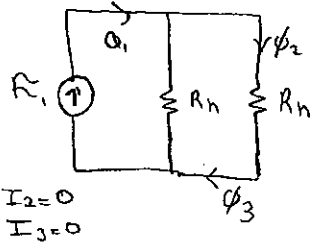
Örnek

$N=500$   
 $A=10\text{cm}^2$   
 $l_h=1\text{mm}$



3

Toplamsallık ilkesinden



$I_2=0$   
 $I_3=0$

$$F_1 = \phi_1 \cdot Res = N \cdot I_1$$

$$\phi_1 = \frac{N \cdot I_1}{Res}$$

$$L_{11} \cdot I_1 = N_1 \cdot \phi_1$$

$$L_{11} = \frac{N^2}{Res} = \frac{500^2}{0,0978} = 0,628 \text{ H}$$

$$R_h = \frac{l_h}{\mu_0 \mu_r A} = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 10 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} = 0,795 \text{ A/wb}$$

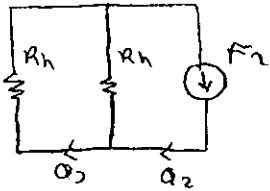
$$Res = \frac{R_h}{2} \text{ olur.}$$

$$L_{12} \cdot I_1 = N_2 \cdot \phi_2 \Rightarrow \phi_2 = \frac{\phi_1 \cdot R_h}{2 \cdot R_h} = \frac{\phi_1}{2} \Rightarrow N_2 = N_1 = N \text{ olduğundan}$$

$$L_{12} = 0,314 \text{ H olur}$$

$$L_{13} \cdot I_1 = N_3 \cdot \phi_3 \Rightarrow \phi_3 = \phi_2 = \frac{\phi_1}{2} \Rightarrow N_3 = N_1 = N \text{ olduğundan}$$

$$L_{13} = 0,314 \text{ H}$$



$I_1=0$   $I_3=0$

$$F_2 = \phi_2 \cdot Res = N \cdot I_2$$

$$\phi_2 = \frac{N \cdot I_2}{Res}$$

$$L_{22} \cdot I_2 = N_2 \cdot \phi_2$$

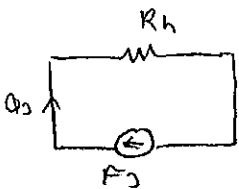
$$L_{22} = \frac{N^2}{Res} = 0,628 \text{ H}$$

$$L_{23} \cdot I_2 = N_3 \cdot \phi_3$$

$$L_{23} = \frac{N_3 \cdot I_3}{I_2} \Rightarrow \phi_3 = \frac{\phi_2}{2}$$

$$L_{23} = 0,314 \text{ H}$$

$$L_{21} \cdot I_2 = N_1 \cdot \phi_1 \Rightarrow \phi_1 = \phi_3 = L_{21} = 0,314 \text{ H}$$



$$F_3 = \phi_3 \cdot R_h = N_3 \cdot I_3$$

$$L_{33} = \frac{N_3 \cdot \phi_3}{I_3} \quad L_{33} = \frac{500^2}{0,795} = 0,314 \text{ H}$$

$$L_{32} = L_{31} = 0,314 \text{ H}$$

$$\begin{bmatrix} L_{11} \\ L_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,628 \text{ H} \end{bmatrix}$$

~~Ornek 4~~ iki sargılı magnetik sistemin sargularından biri sabit konumda diğeri hareketlidir. iki sargı arasındaki uzaklık  $X$  ile gösterilsin (metre) sarguların endüktansları, ortak endüktansları ve dirençleri  $L_1 = 0,5 \text{ H}$   $L_2 = (4-X) \text{ H}$   $L_{12} = 0,1(4-X)^2 \text{ H}$   $R_1 = 0,5 \Omega$   $R_2 = 1 \Omega$   $I_1 = 5 \text{ A}$   $I_2 = 10 \text{ A}$  iken aşağıdaki durumlar için 1. ve 2. sarguların uçlarındaki gerilimleri zamanın işlevi olarak bul. ve  $t = 0,5 \text{ s}$ 'deki gerilim =?

$$V = I \cdot R + \frac{d\lambda}{dt} \Rightarrow \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} R_1 & 0 \\ 0 & R_2 \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} L_{11} & L_{12} \\ L_{21} & L_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix}$$

a.)  $x(t) = 2 \cos 2t$  [metre]      b.)  $x(t) = 4 \sin 10t$  [metre]

$$V_1 = 5 \cdot 0,5 + \frac{d}{dt} \cdot 0,5 \cdot 5 + \frac{d}{dt} \cdot 0,1 \cdot (4 - 2 \cos 2t)^2 \cdot 10$$

$$V_2 = 10 \cdot 1 + \frac{d}{dt} \cdot 0,1 \cdot (4 - 2 \cos 2t)^2 \cdot 5 + \frac{d}{dt} \cdot (4 - 2 \cos 2t) \cdot 10$$

$$V_1 = 2,5 + \frac{d}{dt} \cdot (16 - 16 \cos 2t + 4 \cos^2 2t) \Rightarrow 2,5 + 32 \sin 2t + \frac{d}{dt} \cdot 2(1 + \cos 4t)$$

$$V_2 = 10 + \frac{d}{dt} \cdot (8 - 8 \cos 2t + 2 \cos^2 2t) - \frac{d}{dt} 20 \cos 2t$$

$$\Rightarrow V_2 = 10 + 16 \sin 2t + \frac{d}{dt} \cdot (1 + \cos 4t) + 40 \sin 2t$$

$$V_1 = 2,5 + 32 \sin 2t - 8 \sin 4t$$

$$V_2 = 10 + 56 \sin 2t - 4 \sin 4t$$

$t = 0,5 \text{ s}$  için       $V_1 = 2,979 \text{ V}$   
 $V_2 = 10,83 \text{ V}$

iki sargının öz ve ortak endüktansları  $L_{11} = L_{22} = 2$  Henry

$L_{12} = 1 + 2x$  Henry  $\Rightarrow$  (a)  $I_1 = 5A$   $I_2 = -2A$  de sabit tutulurken  $x$ 'in 0'dan 0,5 metreye kadar artırılmasında yapılan mekanik iş ne olur ve oluşan elektromekanik kuvvetin yönü ne olur.

$$F_e = \frac{I_1^2}{2} \cdot \frac{dL_{11}}{dx} + \frac{I_2^2}{2} \cdot \frac{dL_{22}}{dx} + I_1 \cdot I_2 \cdot \frac{dL_{12}}{dx} \Rightarrow w = \int_{x_1}^{x_2} F_e dx$$

$$w = \int_0^{0,5} \left[ \frac{25}{2} \cdot \frac{d}{dx} \left( \frac{2}{1+2x} \right) + \left( \frac{4}{2} \cdot \frac{d}{dx} \left( \frac{2}{1+2x} \right) \right) + 5 \cdot (-2) \cdot \frac{d}{dx} (1+2x) \right] dx$$

$$\left. \frac{25}{2} \cdot \frac{2}{1+2x} + \frac{4}{2} \cdot \frac{2}{1+2x} - 10 \cdot (1+2x) \right|_0^{0,5} = -24,5 \text{ Joule}$$

(b) a. sıkkında belirtilen hareket boyunca  $I_1$  ve  $I_2$  akımlarının geldiği kaynakların her birinden çekilen elektrik enerjisini ayrı ayrı hesapla

$$w_1 = \frac{1}{2} L_{11} \cdot I_1^2 + \frac{1}{2} L_{12} \cdot I_1 \cdot I_2$$

$$= \frac{1}{2} \cdot 25 - (1+2x) \cdot 5$$

$$\Delta w_1 = w_{12}(0,5) - w_{11}(0)$$

$$\left( \frac{25}{2} - 10 \right) - (25 - 5)$$

$$\Delta w_1 = -17,5 \text{ Joule}$$

$$w_2 = \frac{1}{2} L_{22} \cdot I_2^2 + \frac{1}{2} L_{12} \cdot I_1 \cdot I_2$$

$$= \frac{4}{2} - (1+2x) \cdot 5$$

$$\Delta w_2 = w_{22}(0,5) - w_{21}(0)$$

$$\left( \frac{4}{2} - 10 \right) - (4 - 5)$$

$$\Delta w_2 = -7 \text{ Joule}$$

Doğrusal hareket yapan bir elektromekanik dönüştürücünün sargısından geçen akım  $I = 3 + 8 \cos x$  şeklinde değişmektedir. Burada  $x$  hareketli parçanın doğrusal yer değiştirmesidir. Sargının toplam akısı ile akımı arasında  $\lambda = 30I^2 - 480I \cos x$  bağıntısı vardır.

$x = 0,03$  m için hareketli parçaya etki eden kuvvet ne olur.

$I$  bağımsız olduğundan coenerjiden çözülür.

$$w_c = \int_0^i \lambda di = \int_0^i (30i^2 - 480i \cos x) di \Rightarrow w_c = 10i^3 - 240i^2 \cdot \cos x$$

$$\text{ve } F_e = \frac{\partial w_c}{\partial x} \text{ olduğundan } F_e = 240 I^2 \cdot \sin x \quad x = 0,03 \text{ için}$$

$$i = 3 + 8 \cos 0,03 \Rightarrow 240 \cdot (10,996)^2 \cdot \sin 0,03 \Rightarrow F_e = 870,436 \text{ N olur}$$

$i \downarrow$   
 $i = 10,996$

Örnek

$$F_1 = 50 \text{ Hz}$$
$$F_2 = 50 \text{ Hz}$$
$$F_3 = 35 \text{ Hz}$$

$$B_{m1} = 1,2 \text{ T}$$
$$B_{m2} = 0,75 \text{ T}$$
$$B_{m3} = 1,2$$

$$P_{fe1} = 500 \text{ W}$$
$$P_{fe2} = 185,04 \text{ W}$$
$$P_{fe3} = 287$$

www.oguzhancakmak.com.tr  
⇒ n=?

$$P_{fe} = P_g + P_h \Rightarrow \frac{35}{\text{Kg}} \cdot 50^2 \cdot 1,2^2 + K_h \cdot 50 \cdot 1,2^n = 500$$
$$\frac{50}{\text{Kg}} \cdot 35^2 \cdot 1,2^2 + K_h \cdot 35 \cdot 1,2^n = 287$$

yok ediliyor

$$\Rightarrow K_g = 0,833$$

$$P_{g1} = K_g \cdot F_1^2 \cdot B_{m1}^2 \Rightarrow 0,833 \cdot 2500 \cdot 1,44 = 200 \Rightarrow P_{h1} = 200 \text{ W}$$
$$P_{g2} = K_g \cdot F_2^2 \cdot B_{m2}^2 \Rightarrow 0,833 \cdot 2500 \cdot 0,75^2 = 117,6 \Rightarrow P_{h2} = 69,8 \text{ W}$$
$$P_{g3} = K_g \cdot F_3^2 \cdot B_{m3}^2 \Rightarrow 0,833 \cdot 35^2 \cdot 1,44 = 147 \Rightarrow P_{h3} = 140 \text{ W}$$

$$\frac{P_{h2}}{P_{h3}} = \frac{K_h \cdot F_2 \cdot B_{m2}^n}{K_h \cdot F_3 \cdot B_{m3}^n} = 0,484 = \frac{50}{35} \cdot \frac{0,75^n}{1,2^n} \Rightarrow n = 2,289 \Rightarrow K_h = 2,629 \text{ olur.}$$

Örnek

sargı 1 → 220V 50 Hz  $P_{g1} = 200 \text{ W}$

sargı 2 → 110V 75 Hz  $P_{g2} = ?$

$$e = E_m \cdot \cos \omega t \Rightarrow e_1 = 220\sqrt{2} \cdot \cos(2\pi \cdot 50 t)$$
$$e_2 = 110\sqrt{2} \cdot \cos(2\pi \cdot 75 t)$$

$$e = N \cdot \frac{d\phi}{dt}$$

$$\int E_m \cdot \cos \omega t dt = N \cdot \frac{d\phi}{dt} \cdot dt$$

$$\frac{E_m}{\omega} \cdot \sin \omega t = N \cdot \phi$$

$$\Rightarrow \frac{P_{g1}}{P_{g2}} = \frac{200}{P_{g2}} = \frac{\text{Kg} \cdot 50^2 \cdot \left(\frac{E_{m1}}{A \cdot N \cdot 2\pi \cdot 50}\right)^2}{\text{Kg} \cdot 75^2 \cdot \left(\frac{E_{m2}}{A \cdot N \cdot 2\pi \cdot 75}\right)^2} = \frac{E_{m1}^2}{E_{m2}^2} = \frac{200}{P_{g2}}$$

$$\frac{E_m}{N \cdot 2\pi F} \cdot \sin \omega t = \phi$$

$\phi_m$

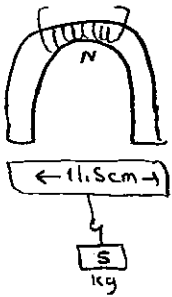
$$\Rightarrow B_{m1} = \frac{\phi_{m1}}{A} = \frac{E_{m1}}{A \cdot N \cdot 2\pi F_1}$$

$$B_{m2} = \frac{\phi_{m2}}{A} = \frac{E_{m2}}{A \cdot N \cdot 2\pi F_2}$$

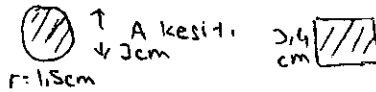
$$\Rightarrow \left(\frac{220\sqrt{2}}{110\sqrt{2}}\right)^2 = \frac{200}{P_{g2}}$$

$$P_{g2} = 50 \text{ W}$$

Örnek



Sekildeki elektromagnatın 0,760 kg ağırlığında demir bir armatüre asılı olan 5 kg'lık bir yükü kaldırmak üzere yapılmıştır. Elektromagnatındaki bobinin sarım sayısı  $N=100$  dür. hava aralığı 0,005 m  
⇒ yükü kaldırmak için gerekli I akımının değeri nedir.



$$l = 0,005 \text{ m}$$

$$F = m \cdot g \Rightarrow (0,760 + 5) \cdot 9,81 = 56,5 \text{ N}$$

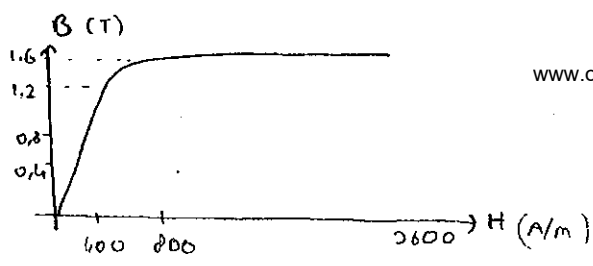
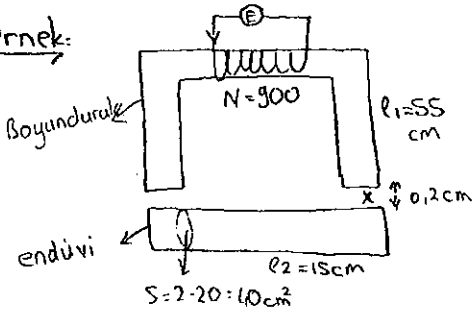
$$F = \frac{B^2}{\mu_0} \cdot A \Rightarrow B = \sqrt{\frac{\mu_0 \cdot F}{A}} \quad A = \pi r^2 = 110,015^2 \text{ m}^2$$
$$B = 0,27 \text{ wb/m}^2$$

hava aralığındaki toplam manyetik gerilim  $N \cdot I = 2 H \cdot l$

$$I = \frac{2 \delta \cdot H}{N} = \frac{2 \delta \cdot B}{\mu_0 H} \Rightarrow \frac{2 \cdot 0,005 \cdot 0,27}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 100} = 25,2 \text{ A}$$



Örnek:



(Kacak akıları = 0)

Şekilde bir elektromagnets ve koldırdığı endüvi parçası verilmiştir.  $N=900$  sarımlı ve iletken direnci  $R=13,8 \Omega$  dur. Boyunduruk ve endüvinin  $B-H$  eğrisi verilmiştir. buna göre endüvinin  $981 N$  luk çekildiği sırada  $E$  gerilimi ne olmalıdır.

Burada kuvvet ile enerji arasındaki ilişki  $F = -\frac{dw}{dx}$  dir

Birim hacimdeki Magnetik enerji yoğunluğu  $E = \frac{1}{2} B \cdot H$

hava aralığının hacmi  $S \cdot x = V$  olur.

hava aralığındaki enerji  $W = E \cdot V = \frac{1}{2} \cdot B \cdot H \cdot S \cdot x$

$\Rightarrow H = \frac{B}{\mu}$  ve iki adet

hava aralığı olduğundan  $W = \frac{B^2}{\mu_0} \cdot s \cdot x$  olur

$F = -\frac{dw}{dx} = 981 N$  ise

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

Amper yasası  $\mathcal{F} = N \cdot I = H \cdot l = H_h \cdot (x+x) + H_m \cdot (l_1+l_2)$

eğriyi  $0 < H < 200 \Rightarrow \frac{B}{H_m} \approx \frac{0,8}{200}$  olur  $H_m = 250 B$  olur  $B = 0,555$  için  $H = 138,75 A/m$  olur

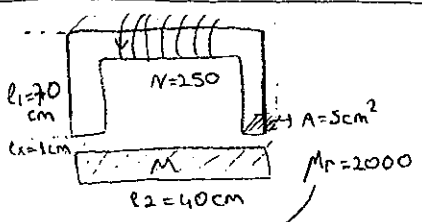
$$N \cdot I = \frac{0,555}{4\pi \cdot 10^{-7}} \cdot 2 \cdot 0,2 \cdot 10^{-2} + 138,75 \cdot (55+15) \cdot 10^{-2} = 1766 + 99 = 1865,745 A \text{ sarım}$$

$$N \cdot I = 1865,745 \Rightarrow I = 2,07 A \text{ olur}$$

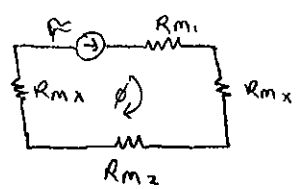
iletken direnci  $13,8 \Omega$  olduğundan

$$V = I \cdot R = 28,52 V \text{ olur}$$

Örnek:



Şekilde gösterilen elektromagnets hareketli parçanın kütlesi  $M=100gr$  buna göre  $x=1mm$  için bobinden geçmesi gereken akım nedir.



$$R_{m1} = \frac{l_1}{\mu_0 \mu_r A} = \frac{70 \cdot 10^{-2}}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 2000 \cdot 5 \cdot 10^{-4}} = 557 \cdot 10^3 A/m$$

$$R_{m2} = \frac{l_2}{\mu_0 \mu_r A} = \frac{40 \cdot 10^{-2}}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 2000} = 318 \cdot 10^3 A/m$$

veriliyorsa demir dirençleride vardır.

$$\text{hava aralığında} \leftarrow R_{mx} = \frac{l_x}{\mu_0 \cdot A} = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 5 \cdot 10^{-4}} = 1591 \cdot 10^3 A/m$$

olanda sadece  $\mu_0$

hareketli parçaya ağırlığından dolayı etki eden yerçekimi kuvveti  $F = mg = 100 \cdot 10^{-3} \cdot 9,81 = 0,981 N$

magnetik devrenin hareketli parçaya etkileyen kuvveti ise  $F = \frac{B^2}{2\mu_0} \cdot A$

bu iki kuvvet birbirine esit olduğunda hareketli parça dengede kalır.

magnetik alan iki hava aralığından hareketli parçayı etkilediğinden

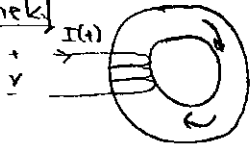
$A = 2 \text{ An}$  alınır.  $F = \frac{\beta^2}{2\mu_0} \cdot 2 \text{ An} = 0,981 \text{ N}$  olur buradan  $\beta = \sqrt{\frac{0,981 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7}}{2 \cdot 10^{-7}}} = 49,6 \cdot 10^{-3} \text{ T}$

$\phi = \beta \cdot A$  olduğundan  $49,654 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 10^{-4} \Rightarrow \phi = 24,827 \cdot 10^{-6} \text{ Wb}$

$F = \phi \cdot (R_{m1} + 2R_{mx} + R_{m2}) \Rightarrow 24,827 \cdot 10^{-6} \cdot (557 + 2 \cdot 182 + 218) \cdot 10^3 \Rightarrow$

$F = 100,759 \text{ N}$  veya  $F = N \cdot I$   $I = \frac{F}{N} = \frac{100,759}{250} I = 403 \cdot 10^{-3}$

Örnek



$Q_1(t) = 20 \sin 150t \text{ [mWb]}$

$Q_2(t) = 35 \sin 100t \text{ [mWb]}$

$n = ?$

$P_{h1} = 40 \text{ W}$

$P_{g1} = 60 \text{ W}$

$P_{Fe2} = 155 \text{ W}$

$B_{m1} = \frac{\phi_{m1}}{A} = \frac{20}{A}$

$F_1 = \frac{150}{2\pi}$

8

$\frac{P_{g1}}{P_{g2}} = \frac{K_g \cdot F_1^2 \cdot B_{m1}^2}{K_g \cdot F_2^2 \cdot B_{m2}^2} \Rightarrow \frac{60}{P_{g2}} = \frac{K_g \cdot \left(\frac{150}{2\pi}\right)^2 \cdot \left(\frac{20}{A}\right)^2}{K_g \cdot \left(\frac{100}{2\pi}\right)^2 \cdot \left(\frac{35}{A}\right)^2}$

$\Rightarrow \frac{60}{P_{g2}} = \frac{K_g \cdot \left(\frac{150}{2\pi}\right)^2 \cdot \left(\frac{20}{A}\right)^2}{K_g \cdot \left(\frac{100}{2\pi}\right)^2 \cdot \left(\frac{35}{A}\right)^2}$

$B_{m2} = \frac{\phi_{m2}}{A} = \frac{35}{A}$

$F_2 = \frac{100}{2\pi}$

$\Rightarrow P_{g2} = 81,66 \text{ W}$

$P_{Fe} = P_{g2} + P_{h2} \Rightarrow 155 - 81,66 = 73,3 \text{ W}$

$\frac{P_{h1}}{P_{h2}} = \frac{K_g \cdot F_1 \cdot B_{m1}^n}{K_g \cdot F_2 \cdot B_{m2}^n} = \frac{40}{73,3} = \frac{K_g \cdot \left(\frac{150}{2\pi}\right) \cdot \left(\frac{20}{A}\right)^n}{K_g \cdot \left(\frac{100}{2\pi}\right) \cdot \left(\frac{35}{A}\right)^n} \Rightarrow n = 1,8$

$\Rightarrow n = 1,8$

Örnek

Bir manyetik çekirdekteki akı 50 Hz sinus biçimlidir.  $B_{m1} = 0,8$  ile  $P_g = 20 \text{ W}$   $F = 50 \text{ Hz}$  ve  $B_m = 1,2 \text{ T}$  olduğunda  $P_g = ?$

$P_{g1} = K_g \cdot F_1^2 \cdot B_{m1}^2 \Rightarrow 20 = K_g \cdot 900 \cdot 0,64 \Rightarrow K_g = 0,004722$

$P_{g2} = K_g \cdot F_2^2 \cdot B_{m2}^2 \Rightarrow P_{g2} = 0,004722 \cdot 2500 \cdot 1,44 \Rightarrow P_{g2} = 125 \text{ W}$  olur

Örnek

1m uzunluğundaki iletken bir tel zamana göre değişen  $\beta(t) = 4e^{-1,5t} \text{ T}$  olan alana diktir. iletken içinden  $I(t) = 50 \cdot (1 - e^{-t}) \text{ A}$  akıyor

- a) iletkene etkiyen kuvvetin zamana bağlı ifadesi b) bu kuvvetin max. değeri  
c) bu kuvvetin  $t=0$  ile  $t=4 \text{ sn}$  arasındaki değişimin grafiğini çiz.  
d) " " " " " " ortalama değeri

a)  $F = \beta \cdot i = 4 \cdot e^{-1,5t} \cdot 50 \cdot (1 - e^{-t}) = 200 (e^{-1,5t} - e^{-2,5t}) \text{ N}$

b) ifade üstel olduğundan  $F_{\text{max}}$  için  $\frac{dF}{dt} = 0$  olmalıdır

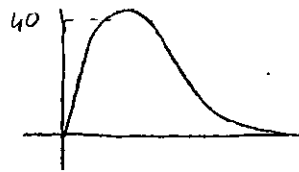
$-1,5 e^{-1,5t} + 2,5 e^{-2,5t} = 0 \Rightarrow t = 0,51083 \text{ olur.}$

F'de t yerine konursa

$F = 37 \text{ N}$  bulunur

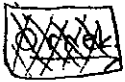
c.)

t	F(t)
0	0
0,2	26
0,4	36,1
0,6	36,8
0,8	33,1
1	28,2
2	8,6
3	2,1
4	0,4



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

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



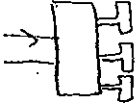
Bir dönüştürücüde toplam akı-akım ilişkisi

$$\lambda = (\sin 8i - \cos 2i) X_1^4 + (\cos 7i - \sin 3i) X_2^3 + (\sin 6i - \cos 4i) X_3^2 \quad \text{dir}$$

a) kaç elektriksel kaç mekanik kapı vardır:

b)  $w, w_c = ?$  c)  $i = 1A$   $X_1 = 4m$   $X_2 = 1m$   $X_3 = 2m \Rightarrow$  sistemde depolanan  $w,$  ve  $w_c = ?$  d) mekanik kapılara etkiyen kuvvetleri bul

e) Bağımsız değişken akım  $\Rightarrow$  3 mekanik 1 tane elektriksel kapı vardır <sup>9</sup>



$$b) \quad w_c = \int_0^i \lambda \, di = -\frac{\cos 8i}{8} X_1^4 - \frac{\sin 2i}{2} X_1^4 + \frac{\sin 7i}{7} X_2^3 + \frac{\cos 3i}{3} X_2^3 - \frac{\cos 6i}{6} X_3^2 - \frac{\sin 4i}{4} X_3^2 \Big|_0^i + \text{sor}$$

$$w_c = -\frac{\cos 8i}{8} X_1^4 + \frac{X_1^4}{8} - \frac{1}{2} \sin 2i X_1^4 + \frac{1}{7} \sin 7i X_2^3 + \frac{1}{3} \cos 3i X_2^3 - \frac{X_2^3}{3} - \frac{1}{6} \cos 6i X_3^2 + \frac{1}{6} X_3^2 - \frac{1}{4} \sin 4i X_3^2 + \text{sor}$$

$$w_c = X_1^4 \left( -\frac{1}{8} \cos 8i - \frac{1}{2} \sin 2i + \frac{1}{8} \right) + X_2^3 \left( \frac{\sin 7i}{7} + \frac{\cos 3i}{3} - \frac{1}{3} \right) + X_3^2 \left( -\frac{\cos 6i}{6} - \frac{\sin 4i}{4} + \frac{1}{6} \right)$$

$$w = \lambda_i - w_c$$

$$\lambda_i = X_1^4 i (\sin 8i - \cos 2i) + X_2^3 i (\cos 7i - \sin 3i) + X_3^2 i (\sin 6i - \cos 4i)$$

$$w = \lambda_i - w_c \Rightarrow X_1^4 \left( i \sin 8i - i \cos 2i + \frac{1}{8} \cos 8i + \frac{\sin 2i}{2} - \frac{1}{8} \right) + X_2^3 \left( i \cos 7i - i \sin 3i - \frac{\sin 7i}{7} - \frac{\cos 3i}{3} + \frac{1}{3} \right) + X_3^2 \left( i \sin 6i - i \cos 4i + \frac{\cos 6i}{6} + \frac{\sin 4i}{4} - \frac{1}{6} \right)$$

c)  $i = 1$   $X_1 = 4$   $X_2 = 1$   $X_3 = 2$   $w = \Rightarrow 256 \left( \sin 8 - \cos 2 + \frac{\cos 8}{8} + \frac{\sin 2}{2} - \frac{1}{8} \right) + 1 \cdot \left( \cos 7 \right.$

<sup>mak Derece cinsinden</sup>  $\left. - \sin 3 - \frac{\sin 7}{7} - \frac{\cos 3}{3} + \frac{1}{3} \right) + 4 \left( \sin 6 - \cos 4 + \frac{\cos 6}{6} - \frac{\sin 4}{4} - \frac{1}{6} \right) = -216 \text{ joule}$

$$w_c = 256 \left( -\frac{\cos 8}{8} - \frac{\sin 2}{2} + \frac{1}{8} \right) + 1 \cdot \left( \frac{\sin 7}{7} + \frac{\cos 3}{3} - \frac{1}{3} \right) + 4 \cdot \left( -\frac{\cos 6}{6} - \frac{\sin 4}{4} + \frac{1}{6} \right)$$

d)  $F_1 = \frac{\partial w_c}{\partial X_1} =$

$$= -4,204 \text{ joule}$$

$$F_2 = \frac{\partial w_c}{\partial X_2}$$

$$F_3 = \frac{\partial w_c}{\partial X_3}$$



Bir elektromekanik düzende kapılara ilişkin akım bağıntısı  
www.oguzhancakmak.com.tr

$$\lambda_1 = (a + bI_1) \cdot I_1 + (M \cdot \cos\theta) I_2$$

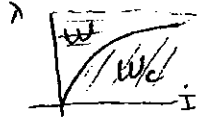
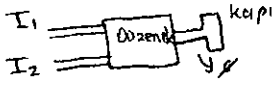
$$\lambda_2 = (M \cdot \cos\theta) I_1 - (c + dI_2) I_2$$

a.) Sistem doğrusal mıdır

b.)  $W = ?$

c.) endüklenen moment = ?

a.) Bu sistem için söylenebilecek şey  $I_1$  ve  $I_2$  den iki elektriksel kapasite ve  $\theta$ 'den dolayı bir mekanik kapasite olduğudur.



$$W_c = \int_0^{I_1} \lambda_1 (I_1, I_2 = 0, \theta) dI_1 + \int_0^{I_2} \lambda_2 (I_1 = \text{sabit}, I_2, \theta) dI_2$$

$$= \int_0^{I_1} (a + bI_1) \cdot I_1 dI_1 + \int_0^{I_2} [M \cdot \cos\theta I_1 + (c + dI_2) I_2] dI_2 \quad \text{SOR} \quad 10$$

$$W_c = \frac{1}{2} a I_1^2 + \frac{1}{3} b I_1^3 + (M \cos\theta I_2) I_2 + \frac{1}{2} c I_2^2 + \frac{1}{3} d I_2^3$$

$$W = \lambda_1 I_1 + \lambda_2 I_2 - W_c$$

$$W = [(a + bI_1) I_1 + M \cdot \cos\theta I_2] I_1 + [M \cos\theta I_1 + (c + dI_2) I_2] I_2 - W_c$$

$$\Rightarrow W = \left( \frac{a}{2} + \frac{2b}{3} I_1 \right) I_1^2 + M \cos\theta I_2 \cdot I_1 + \left( \frac{c}{2} + \frac{2}{3} d I_2 \right) I_2^2$$

$W \neq W_c$  olduğundan doğrusal değildir

Dönüştürücüler:  $P_m > 0 \Rightarrow$  motor  $P_m < 0 \Rightarrow$  generatör www.oguzhancakmak.com.tr

$P_m = V_1 \cdot I_1 + V_2 \cdot I_2$  dir veya  $P_y > 0 \Rightarrow$  motor  
 $P_y < 0 \Rightarrow$  generatör.

Doğrusal sistemde  $P = \frac{F \cdot l}{t} = F \cdot v$

Dönmeli sistemde  $P = \frac{M \cdot \theta}{t} = M \cdot \omega$   $P_y = M \cdot \omega$

Magnetik sistemler:  $\phi$ : Akı [wb]  $B$ : Akı yoğunluğu [T]  $M$ : mag geçirgenlik [H/m]  
 $A$ : alan [m<sup>2</sup>]  $H$ : Alan şiddeti [A/m]  $\mathcal{R}$ : magnetomotor kuvvet [As]

$H = \frac{N \cdot I}{l}$  (A/m)  $B = \frac{\phi}{A} = \mu \cdot H$

$\mathcal{R} = N \cdot I = R \cdot \phi$   $R = \frac{l}{\mu A}$  : magnetik direnç [A/wb]  $R_m = \frac{l}{\mu A}$  Alan/wb

Faraday yasası:  $e = \frac{d\lambda}{dt} = \frac{dN \cdot \phi}{dt} = N \cdot \frac{d\phi}{dt}$   $\lambda = N \cdot \phi$   $\lambda = L \cdot i$

$e = \frac{d\lambda}{dt} = L \cdot \frac{di}{dt} \Rightarrow L = \frac{N^2}{R_m}$

- $L = \text{sabit} \Rightarrow$  doğrusal, zamanla değişmeyen ( $L = 5 \text{ mH}$ )
  - $L = F(t) \Rightarrow$  doğrusal, zamanla değişen ( $L = 3 \sin 2t$ )
  - $L = F(i) \Rightarrow$  doğrusal olmayan, zamanla değişmeyen ( $L = e^i$ )
  - $L = F(i, t) \Rightarrow$  doğrusal olmayan, zamanla değişen ( $L = 3 \ln 2i + t^2$ )
- $M_r < 1 \Rightarrow$  diamagnetik,  $M_r > 1 \Rightarrow$  paramagnetik,  $M_r \gg 1 \Rightarrow$  ferromagnetik

Mag. alanda depolanan enerji:  $\lambda = N \cdot B \cdot A$   $e = \frac{d\lambda}{dt} \Rightarrow e = N \cdot A \cdot \frac{dB}{dt}$

$v = R \cdot i + e$   
 sargının uc gerilim  $v$   $R \cdot i$  gerilim düşümü  $e$  endüklenen gerilim

$v_i = R \cdot i^2 + N \cdot i \cdot A \cdot \frac{dB}{dt}$   
 giren güç  $R \cdot i^2$  kayıp güç  $N \cdot i \cdot A \cdot \frac{dB}{dt}$  depo edilen güç

$P = N \cdot i \cdot A \cdot \frac{dB}{dt}$

$w = \int P dt \Rightarrow w = \int N \cdot i \cdot A \cdot \frac{dB}{dt} \cdot dt \Rightarrow w = \int N \cdot i \cdot A \cdot dB$   $N \cdot i = H \cdot l \Rightarrow$

$w = \int H \cdot l \cdot A \cdot dB \Rightarrow w = A \cdot l \int H \cdot dB$   $B = \mu \cdot H \Rightarrow w = A \cdot l \int \frac{B}{\mu} \cdot dB$

$w = \frac{A \cdot l \cdot B^2}{2\mu}$   $w = F \cdot l$  den  $F = \frac{B^2}{2\mu_0} \cdot A \Rightarrow w = \frac{B^2}{2\mu_0} V$  [J/m<sup>3</sup>] hacim

Kayıplar = Alternatif akım nedeniyle oluşan alternatif alanın atomların magnetik momentlerini sürekli değiştirmesi nedeniyle oluşan kayıplara histerisiz k. denir

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

$$P_g = K_g \cdot F^2 \cdot B_m^2 \quad (\text{girdap kayıpları}), \quad P_h = K_h \cdot F \cdot B_m^n$$

$$P_{Fe} = P_g + P_h$$

www.oguzhancakmak.com.tr

Sargıda endüklenen gerilimin ifadesi:

$$\phi = \phi_m \cdot \sin \omega t$$

$$e = N \cdot \frac{d\phi}{dt} = N \cdot \omega \cdot \phi_m \cdot \cos \omega t$$



$$E_m = \omega \cdot N \cdot \phi_m$$

$$E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = \frac{\omega \cdot N \cdot \phi_m}{\sqrt{2}} = \frac{2\pi f \cdot N \cdot \phi_m}{\sqrt{2}} = 4,44 \cdot f \cdot N \cdot \phi_m$$

çdk uyartımlı sistemler:

$$w = \frac{1}{2} [\phi]^t \cdot [R] \cdot [\phi]$$

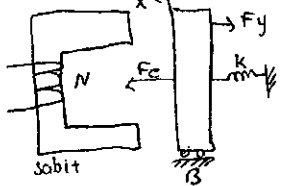
$$\text{veya } w = \frac{1}{2} [I]^t \cdot [L] \cdot [I]$$

depo edilen enerji:

$$k = \frac{L_{12}}{\sqrt{L_1 \cdot L_2}} \quad (\text{kuplaj katsayısı, veya bağlantı katsayısı})$$

$$L = \begin{bmatrix} \frac{N_1^2 (R_{11} + R_{21})}{x} & \frac{N_1 \cdot N_2 \cdot R_{12}}{x} & \frac{N_1 \cdot N_3 \cdot R_{13}}{x} \\ \cdot & \frac{N_2^2 (R_{11} + R_{21})}{x} & -\frac{N_2 \cdot N_3 \cdot R_{12}}{x} \\ \cdot & \cdot & \frac{N_3^2 (R_{11} + R_{21})}{x} \end{bmatrix}$$

Mekanik sistemler

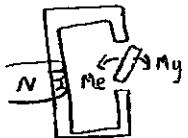


doğrusal hareket yapan

$$F_e = M \cdot \frac{dx^2}{dt^2} + B \cdot \frac{dx}{dt} + kx + F_y$$

$\downarrow$  sürtünme       $\downarrow$  yay sabiti       $\downarrow$  uzama miktarı      yük momenti

(Devrim denklemleri)



dönmeli sistem

$$M_e = J \frac{d^2\theta}{dt^2} + B \frac{d\theta}{dt} + k\theta + M_y$$

$\downarrow$  eylemsizlik momentini       $\downarrow$  yerdeğişim miktarı

$$\frac{d\phi}{dt} = w$$

$$\Rightarrow M_e = J \frac{dw}{dt} + Bw + M_y$$

$$P = M \cdot w$$

$Bw^2 \rightarrow$  sürtünme ve baskı kayıpları

$$E = \frac{1}{2} J w^2 \rightarrow \text{depolanan enerji}$$

Elektromekanik sistemler:

$$F dx + v i dt = d w_m$$

mekanik güç girişi

elektiriksel güç girişi

sistemde depo edilen enerji

$$F dx + i dx = d w_m \Rightarrow F dx = -d w_m + i dx$$

enerjide denge denklemleri

Akım bağımsız değişken

$$F_e = -\frac{\partial w_m}{\partial x} + \frac{i \partial \lambda}{\partial x} \quad (1)$$

$$F_e = -\frac{\partial w_m}{\partial x} \quad (2)$$

özel durum  
(Doğrusallık durumu)

$$w_m = \frac{1}{2} L(x) \cdot i^2 \Rightarrow F_e = \frac{i^2}{2} \cdot \frac{dL}{dx} \quad (3)$$

$$w_m = \frac{1}{2} R(x) \cdot \phi^2 \Rightarrow F_e = -\frac{\phi^2}{2} \cdot \frac{dR}{dx} \quad (4)$$

$L = i \cdot x \Rightarrow$  1 nolu bağıntı kullanılır  $L = x$  olsaydı 3 nolu bağıntı kullanılırdı  
doğrusal olmayan durumlarda 3 ve 4 kullanılmaz.

Not:  $2 \frac{dy}{dx} \rightarrow$  doğrusal

$3x \frac{dy}{dx} \rightarrow$  dođ deđil

$4 \left(\frac{dy}{dx}\right)^2 \rightarrow$  dođ deđil

$5 \frac{d^2y}{dx^2} \rightarrow$  doğrusal

$$F_e = -\frac{dw}{dx}$$

$$M_e = -\frac{dw}{d\theta}$$

$$F_e = \frac{\partial w_c}{\partial x}$$

$$M_e = \frac{\partial w_c}{\partial \theta}$$

$$F_e = \frac{\partial w_c}{\partial x}$$

$$w_c = i\lambda - w$$

$$w = \int_0^{\lambda} I d\lambda$$

$$w_c = \int_0^I \lambda dI$$

Elektrik alanlı sistemler

$\lambda \rightarrow q$

$i \rightarrow v$

$L \rightarrow C$

$$F_c = \frac{i^2}{2} \cdot \frac{dL}{dx}$$

$$\Rightarrow F_c = \frac{v^2}{2} \cdot \frac{dC}{dx} \text{ olur}$$

Not:  $X$  tane elektriksel kapasite ve  $m$  tane mekanik kapasite olan elektromekanik dönüştürücüde co-enerji:

$$w_c = \sum_{i=1}^n \int_0^{\lambda_i} \lambda_i (I_1, \dots, I_n, x_1, \dots, x_m) dI_i \text{ dir}$$

Not:  $e = \frac{d\lambda}{dt}$

Not:  $P_h = K_h \cdot F \cdot \Omega m^n$

$$P_g = K_g \cdot F^2 \cdot \Omega m^2 \quad \Omega m = \frac{\Omega m}{A}$$

$$V = I \cdot R + \frac{d\lambda}{dt}$$

$$\lambda = L \cdot I$$

Not: İki endüktans varsa  $F_c = \frac{I^2}{2} \frac{dL}{dx} \Rightarrow F_c = \frac{I_1^2}{2} \frac{dL_{11}}{dx} + \frac{I_2^2}{2} \frac{dL_{22}}{dx} + I_1 \cdot I_2 \cdot \frac{dL_{12}}{dx}$

$$w = \int_{x_1}^{x_2} F_e dx$$

$x_1$  yapılan iş

Not:  $I = I_0 \cos \omega t$  olsun  $\lambda = 20I^2 - 480I \cos \omega t$   $\omega = 100$   $F_e = ?$

$$w_c = \int_0^I \lambda dI = 10I^3 - 240I^2 \cos \omega t \quad F_c = \frac{\partial w_c}{\partial x} = 240I^2 \sin \omega t$$

Not:  $e = \omega \cdot \frac{d\phi}{dt} = \frac{d\lambda}{dt} = \frac{L \cdot dI}{dt} \quad L = \frac{N^2}{R_m}$

$$e = N \cdot B \cdot A = N \cdot A \cdot \frac{dB}{dt}$$

$$\lambda = N \cdot \phi = L I$$

Not:  $I \Rightarrow v \quad q = C \cdot v \Rightarrow w_c = \int_0^v q dv$

$$\lambda \Rightarrow q$$

$$L \Rightarrow C$$

Not:  $M_e = \frac{\sigma^2}{2} \frac{dR}{d\theta}$

Not:  $E = 4,44 \cdot F \cdot N \cdot \phi_m$  www.oguzhancakmak.com.tr  $M_e = \frac{I^2}{2} \frac{dL}{d\theta}$

Not: motor sorularında  $\omega(t)$ 'i 250 olur dönme hızı 250 rad/s hızla dönmekte iken durdurulan motorun  $\omega$ 'i 250 olur dönme hızı motor durdurulursa

$-M_e = J \frac{d\omega}{dt} + B\omega + M_y$

- sürekli güç çıkışı  $P = M_y \cdot \omega$
- sürtünme ve bakır kayıpları  $B \cdot \omega \rightarrow \text{rad.}$

- sürekli durumdaki güç girişi  $= p + \text{sürt. kay} + \text{bakır kay} + \text{Demir k}$
- Depo edilen enerji  $E = \frac{1}{2} J \cdot \omega^2$

Not: Doğrusallık sorularında  $\lambda = 5 \sin 7t + 9t \Rightarrow L = \frac{\lambda}{I} = 5 \sin 7t + 9$  olur zamanla değişen doğrusal sistem

Not:  $\frac{d}{dt} \left( \frac{I^2}{x} + x \right) = \frac{2I}{x} \frac{dI}{dt} - \frac{I^2}{x^2} \frac{dx}{dt} + \frac{dx}{dt} \Rightarrow$  Ayrı ayrı türev al toplar

Not: Verilen değerler genelde etkin olduğundan  $\sqrt{2}$  ile çarp

Not:  $\cos^2 a = \frac{1 + \cos 2a}{2}$

$\cos a \cdot \sin b = \frac{1}{2} [\sin(a+b) - \sin(a-b)]$

Not:  $\phi = \omega m t + \theta$

Not: üstel ifadeli bir soruda  $F_{max} = \frac{dF}{de} = 0$

Not:  $B_m = \frac{\phi_m}{A} \rightarrow \omega b$   
 $A \rightarrow m^2$

$\beta = \frac{M \cdot I}{Res}$   $L_{11} \cdot I_1 = N \cdot \phi_1$   
 $R_1 = \phi_1 \cdot Res = N \cdot I$

Not:  $E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = \frac{\omega \cdot N \cdot \phi_m}{\sqrt{2}} = 4,44 F \cdot N \cdot \phi_m$

$-x_1^4$   
 $\rightarrow$  kısıtlı  
 $+ y_0$

Not:  $w_c = \int_0^I (\sin \theta I - \cos 2I) x_1^4 \Rightarrow w_c = \frac{(-\frac{1}{\theta} \cos \theta I - \frac{1}{2} \sin 2I) x_1^4}{A} \Big|_0^I = A + \frac{1}{\theta} x_1^4$

Not: Belirli integraldeki - yi unutma

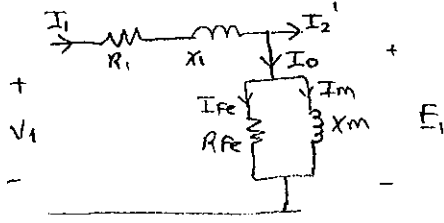
Not:  $\sin^2 a = \frac{1 - \cos 2a}{2}$

Not:  $\frac{1}{x} = \frac{1}{x_0 + x_1(t)} = \frac{1}{x_0} \cdot \frac{1}{(1 + \frac{x_1(t)}{x_0})} = \frac{1}{x_0} \cdot \left( 1 - \frac{x_1}{x_0} + \frac{x_1^2}{x_0^2} \dots \right)$  kes a'



# Trafoolar.

$$E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = \frac{\omega N \cdot \phi_m}{\sqrt{2}} = \frac{2\pi F \cdot N \cdot \phi_m}{\sqrt{2}} = 4,44 \cdot F \cdot N \cdot \phi_m$$



$$P_{cu} = R_1 \cdot I_1^2 \quad (\text{Bakır kayıpları})$$

$$P_{Fe} = R_{Fe} \cdot I_{Fe}^2 \quad (\text{Demir kayıpları})$$

$$V_{FE} \text{ (Anma değer kayıp gücü)} = P_0 \text{ (Boşta çalışma kayıp gücü)}$$

$$V_{cu} \text{ (Anma bakır " " ")} = P_K \text{ (Anma kısa devre " " ")}$$

$$P_2 = S_N \cdot \cos \phi_2$$

$$V_N = V_{FE} + V_{cu} = P_0 + P_K \Rightarrow P_1 = P_2 + V_N = S_N \cdot \cos \phi_2 + P_0 + P_K$$

$$X = \frac{I_{2x}}{I_{2N}} \quad \begin{array}{l} \text{boşta çalışmada } x=0 \\ \text{yarım yük çalışmada } x=0,5 \\ \text{anma yükü (tam yük) } x=1 \end{array}$$

$$P_{2x} = S_x \cdot \cos \phi_2 = X \cdot S_N \cdot \cos \phi_2$$

$$P_{1x} = P_{2x} + V_x = X \cdot S_N \cdot \cos \phi_2 + P_0 + X^2 \cdot P_K$$

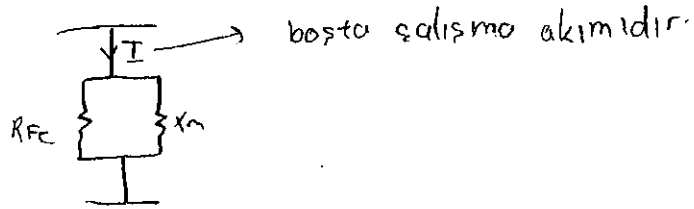
$$\text{Azami verim} = X_m^2 = \frac{V_{FE}}{V_{cu}} = \frac{P_0}{P_K(P_{cu})}$$

yüksek gerilim görür  
√3'te biri bir hatto düşer

Δ → düşük gerilim görür

ABC  
abc

$$\text{Not: } \omega b / m^2 \rightarrow \text{Tesla}$$



$$\mathcal{F} = N \cdot I \rightarrow \text{Magneto motor kuvvet (Amper sarım)}$$

$$\text{Not: } \sin a \cdot \sin b = -\frac{1}{2} (\cos(a+b) - \cos(a-b))$$

$$\cos a \cdot \cos b = \frac{1}{2} (\cos(a+b) + \cos(a-b))$$

$$\begin{array}{l} \text{boşta çalışma deneyinde} \rightarrow P_0 \\ \text{kısa devre} \quad \quad \quad \quad \rightarrow P_{KN} = P_{cu} \end{array}$$

$$\text{Not: Soruda } 232,9 \text{ A yük akımında dediğinde } I_{2N} = \frac{S_N}{U_{2N}} = 27 \text{ A den } X = \frac{I_x}{I_{2N}} = 9,85 \text{ olur}$$

$$\text{Not: Azami verimde } X_m^2 = \frac{P_0}{P_{cu}} \rightarrow X_m = X \text{ bulunur}$$

X bulunduğunda  $P_0 = P_{cu}$  dan işlem yapılır  
www.oguzhancakmak.com.tr

Not: Üç Fazlıda

$$I_{1N} = \frac{SN}{\sqrt{3} \cdot U_{1N}}$$

$$S \rightarrow VA \\ Q \rightarrow VAR$$

Not:  $S = U_1 \cdot I$  olur  
[www.oguzhancakmak.com.tr](http://www.oguzhancakmak.com.tr)  
 $\cos \phi = \frac{P}{S}$

$$E_s = \frac{E_1}{N_1} \rightarrow \text{1 sarmdaki gerilim}$$

Not: Azami verimde

$$I_{2X} = X \cdot I_{2N} \quad (\text{yük akımı})$$

$$S_{2A} = X \cdot SN \quad (\text{görünür güç})$$

$$P_{2A} = S_{2A} \cdot \cos \phi_2 \quad (\text{etkin güç})$$

$$Q_{2A} = S_{2A} \cdot \sin \phi_2 \quad (\text{tepkini güç})$$

Not: Açık devre

$$R_{FeAok} = \frac{V_{aok}^2}{P_{aok}}$$

$$S_{aok} = V_{aok} \cdot I_{aok} \\ Q_{aok} = \sqrt{S_{aok}^2 - P_{aok}^2}$$

$$X_{ma} = \frac{V_{ad}^2}{Q_{aok}}$$

$\Rightarrow$  bu işlemleri yüksek tarafa indirge  
diğimizde  $R_{Fe} \cdot a^2 = R_{FeY}$

$$X_{m\text{ailek}} \cdot a^2 = X_{m\text{yüksek}} \text{ olur}$$

Kısa devre

$R_A$  ile  $R_Y$

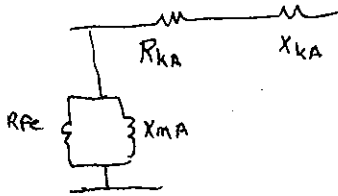
$$R_{RA} = \frac{P_{kd}}{I_{kd}^2}$$

veriliyor

$$Z_{KA} = \frac{V_{kd}}{I_{kd}}$$

$$X_{KA} = \sqrt{Z_{KA}^2 - R_{KA}^2}$$

$$R_{KA} = R_A + \frac{1}{a^2} \cdot R_Y$$



$\Rightarrow$  bu işlemleri alacak 6. tarafa indirersenek  $\frac{1}{a^2}$  ile

$$X_{KA} = \frac{X_{Kj}}{a^2}$$

Not: %75 yükte çalışan trafo

$$I_2 = \frac{S_2}{U_2} \cdot 75$$

$$3x \frac{dy}{dt} - 5y \frac{dx}{dt} + 4y^2 - 2x^2 = k$$

$$3(x_0 + x_1(t)) \frac{d(v_0 + v_1(t))}{dt} - 5(v_0 + v_1(t)) \frac{d(x_0 + x_1(t))}{dt} + 4v_0^2 + 8v_0v_1(t) - 2x_0^2 - 4x_0x_1(t) = k$$

$$3x_0 \frac{d(v_0)}{dt} + 3x_0 \frac{d(v_1(t))}{dt} + 3x_1(t) \frac{d(v_0)}{dt} + 3x_1(t) \frac{d(v_1(t))}{dt} - 5v_0 \frac{d(x_0)}{dt} - 5v_0 \frac{d(x_1(t))}{dt} - 5v_1(t) \frac{d(x_0)}{dt} - 5v_1(t) \frac{d(x_1(t))}{dt}$$

$$3x_0 \frac{d(v_1(t))}{dt} - 5v_0 \frac{d(x_1(t))}{dt} + 4v_0^2 + 8v_0v_1(t) - 2x_0^2 - 4x_0x_1(t) = k$$

$$x_0 = 2 \quad v_0 = 3 \Rightarrow 36 - 8 = k \Rightarrow k = 28$$

b.) küçük genlikli değişimler için denklem

$$6 \frac{d(v_1(t))}{dt} - 15 \frac{d(x_1(t))}{dt} + 24v_1(t) - 8x_1(t) = 0$$

c.)  $\frac{v_1(s)}{x_1(s)} = ?$

$$6s v_1(s) - 15s x_1(s) + 24v_1(s) - 8x_1(s) = 0$$

$$v_1(s) (6s + 24) = x_1(s) (15s + 8)$$

$$\frac{v_1(s)}{x_1(s)} = \frac{15s + 8}{6s + 24}$$

d.)  $x_1(t) = \frac{1}{5} e^{-st} \Rightarrow v_1(t) = ?$

$$x(s) = \frac{0.2}{s+5} \Rightarrow v_1(s) = \frac{0.2}{s+5} \cdot \frac{(15s+8)}{6s+24}$$

$$v_1(s) = \frac{2.23}{s+5} - \frac{10.08}{6s+24} \Rightarrow v_1(s) = \frac{2.23}{s+5} - \frac{10.08}{6(s+4)} = \frac{2.23}{s+5} - \frac{1.67}{s+4}$$

$$v_1(t) = 2.23 \cdot e^{-st} - 1.67 \cdot e^{-4t}$$

e.) Kararlılık  $t \rightarrow \infty$   $x_1(t) = 0$  olur kararlıdır

Not:  $\frac{1}{x} = \frac{1}{x_0 + x_1} = \frac{1}{x_0} \cdot \frac{1}{(1 + \frac{x_1}{x_0})} = \frac{1}{x_0} \cdot (1 - \frac{x_1}{x_0} + \frac{x_1^2}{x_0^2} \dots)$  kes (ikinci)

$$\cong \frac{1}{x_0} \cdot (1 - \frac{x_1}{x_0})$$



$$2x \frac{dI}{dt} - 3I \frac{dx}{dt} + 7I^2 + kx^2 = 49 \Rightarrow k=?$$

$$x_0 = -2$$

www.oguzhancakmak.com.tr

$$2(x_0 + x_1(t)) \frac{d(I_0 + I_1(t))}{dt} - 3(I_0 + I_1(t)) \frac{d(x_0 + x_1(t))}{dt} + 7I_0^2 + 14I_0 \cdot I_1(t) + k(x_0^2 + x_0 x_1(t))$$

$$2x_0 \frac{dI_0}{dt} + 2x_0 \frac{dI_1(t)}{dt} + 2x_1(t) \frac{dI_0}{dt} + 2x_1(t) \frac{dI_1(t)}{dt}$$

$$-3I_0 \frac{dx_0}{dt} - 3I_0 \frac{dx_1(t)}{dt} - 3I_1(t) \frac{dx_0}{dt} - 3I_1(t) \frac{dx_1(t)}{dt}$$

$$\Rightarrow 2x_0 \frac{dI_1(t)}{dt} - 3I_0 \frac{dx_1(t)}{dt} + 7I_0^2 + 14I_0 \cdot I_1(t) + kx_0^2 + 2kx_0 x_1(t) = 49$$

$\downarrow$   $63 + 4k = 49$   $k = -0,5$  bulunun

b) küçük genlikli değişimler için denklem

$$-4 \frac{dI_1(t)}{dt} - 9 \frac{dx_1(t)}{dt} + 42I_1(t) + 14x_1(t) = 0$$

$$\Rightarrow -4s I_1(s) - 9s x_1(s) + 42I_1(s) + 14x_1(s) = 0$$

$$I_1(s) (42 - 4s) = x_1(s) (9s - 14)$$

c)  $\frac{I_1(s)}{x_1(s)} = \frac{9s - 14}{42 - 4s}$

$$u(s) = I_1(s) \cdot x_1(s)$$

geçiş isteği

d)  $I_1(t) = 0,1 \cdot e^{-2t} \Rightarrow x_1(t) = ?$

$$I_1(s) = 0,1 \cdot \frac{1}{s+2}$$

$$\Rightarrow \frac{(42 - 4s) \cdot 0,1}{(9s - 14) \cdot (s+2)}$$

$$\frac{A}{s+2} + \frac{B}{s-14}$$

$$\Rightarrow A = -0,15625$$

$$B = 1,008$$

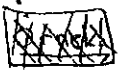
$$x_1(s) = \frac{-0,15625}{s+2} + \frac{1,008}{9s-14} \Rightarrow \frac{-0,15625}{s+2} + \frac{1,008}{9(s-\frac{14}{9})} = \frac{-0,1562}{s+2} + \frac{0,112}{s-\frac{14}{9}}$$

$$x_1(t) = -0,1562 \cdot e^{-2t} + 0,112 \cdot e^{\frac{14}{9}t}$$

$$x_1(t) = -0,156 \cdot e^{-2t} + 0,112 \cdot e^{1,55t}$$

e) Kararlılık  $t \rightarrow \infty$   $x_1(t) = \frac{-0,156 e^{-2t}}{0} + 0,112 \cdot e^{1,55t} \rightarrow$  kararlıdır

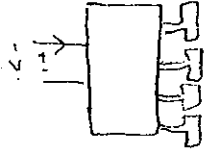
SOR



Bir dönüştürücüde yük gerilim ilişkisi

$$Q = (11x_1^2 - 3x_2^2) \cdot \sin 3V + (7x_3^2 + 5x_4^2) \cdot \cos 4V \text{ biçimindedir.}$$

- a) Kas elektriksel ve kas mekanik kapı vardır.  $\lambda$  ema ile göster  
 b)  $w, w_c = ?$   $V=2V$   $x_1=1m$   $x_2=0m$   $x_3=2m$   $x_4=4m$  için. (enerjinin işlevini)  
 c) depo edilen enerji ve co enerjisi bul  
 d) Mekanik kapıları etkileyen kuvveti bul  
 e)  $v$  den dolayı 1 elektriksel kapı  $x_1, x_2, x_3, x_4$  ten dolayı 4 mekanik kapı var



$$Q \rightarrow \lambda \Rightarrow w_c = \int_0^I \lambda dI \Rightarrow w_c = \int_0^V Q dV$$

$$V \rightarrow I$$

$$L \rightarrow C$$

$$(b) w_c = -\frac{1}{3} (11x_1^2 - 3x_2^2) \cdot \cos 3V + \frac{1}{4} (7x_3^2 + 5x_4^2) \cdot \sin 4V \Big|_0^V$$

$$\Rightarrow w_c = -\frac{1}{3} (11x_1^2 - 3x_2^2) \cdot \cos 3V + \frac{1}{3} (11x_1^2 - 3x_2^2) + \frac{1}{4} (7x_3^2 + 5x_4^2) \cdot \sin V$$

$$\Rightarrow w = I\lambda - w_c \Rightarrow w = VQ - w_c = V(11x_1^2 - 3x_2^2) \sin 3V + V(7x_3^2 + 5x_4^2) \cos 4V$$

$$+ \frac{1}{3} (11x_1^2 - 3x_2^2) \cos 3V - \frac{1}{3} (11x_1^2 - 3x_2^2) - \frac{1}{4} (7x_3^2 + 5x_4^2) \sin V$$

c)  $V=2$   $x_1=1$   $x_2=0$   $x_3=2$   $x_4=4$  için

$$w_c = 0,912 \text{ joule}$$

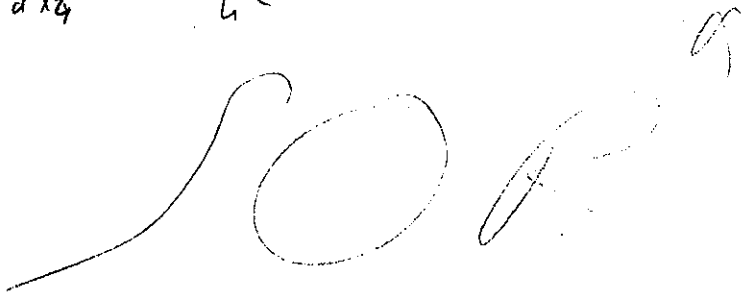
$$w = 215 \text{ joule}$$

$$d_1) F_1 = \frac{\partial w_c}{\partial x_1} = -\frac{1}{3} (22x_1) \cdot \cos 3V + \frac{1}{3} (22x_1) = 0,04 N$$

$$F_2 = \frac{\partial w_c}{\partial x_2} = -\frac{1}{3} (-6x_2) \cdot \cos 3V + \frac{1}{3} (-6x_2) = -0,06 N$$

$$F_3 = \frac{\partial w_c}{\partial x_3} = \frac{1}{4} (14x_3) \cdot \sin V = 0,244 N$$

$$F_4 = \frac{\partial w_c}{\partial x_4} = \frac{1}{4} (10x_4) \cdot \sin V = 0,348 N$$



~~XXXX~~ Kezan sınırlı 60,3 MVA 14,4 kV / 220 kV 50 Hz lik tek Fazlı trafolarından birinin boşa deneyinde 71,2 kW, kısa devre deneyinde 168,4 kW ölçülmüş tür ikincil güç katsayısı 0,8 ⇒ tam yükte yarım yükte 40 MVA ikincil görünür güçte, 232,9 A ikincil akımda kayıpları ve verimi hesaplayın Aynı güç katsayısında azami verimi ve azami verimdeki kayıpları, ikincil akımı görünür etkin ve tepkin gücü bul 27

tam yükte  $x=1$   $\cos \alpha_2 = 0,8$   $P_0 = 71,2 \text{ kW}$   $P_{KN} = P_{Cu} = 168,4 \text{ kW}$

⇒ kayıp gücü  $P_x = P_0 + x^2 \cdot P_{Cu} = 239,6 \text{ kW}$   
 giriş gücü  $P_{1x} = P_{2x} + P_x$   $P_{2x} = X \cdot S_N \cdot \cos \alpha_2 = 1 \cdot 60,3 \cdot 0,8 = 48,24 \text{ MW}$   
 $\Rightarrow P_{1x} = 48,4796 \text{ MW}$   $\eta = \frac{P_{2x}}{P_{1x}} = \frac{48,24 \text{ MW}}{48,4796} = \%99,51$

yarım yükte  $x=0,5$   $\cos \alpha_2 = 0,8$

~~$P_{2x} = X \cdot S_N \cdot \cos \alpha_2 = 0,5 \cdot 60,3 \cdot 0,8 = 24,12 \text{ MW}$~~

~~$P_{1x} = P_{2x} + P_x = P_{2x} + P_0 + x^2 \cdot P_{Cu} = 24,233 \text{ MW}$   $\eta = \%99,53$  olur~~

40 MW yükte  $S_x = X \cdot S_N$   $X = \frac{S_x}{S_N} = \frac{40}{60,3} = 0,63$

$P_{2x} = X \cdot S_N \cdot \cos \alpha_2 = 0,633 \cdot 60,3 \cdot 0,8 = 30,536 \text{ MW}$

$P_{1x} = P_{2x} + P_x = P_{2x} + P_0 + x^2 \cdot P_{Cu} = 30,674 \text{ MW}$   $\eta = \%99,55$

232,9 A lik yük akımında  $I_{2N} = \frac{S_N}{U_{2N}} = \frac{60,3 \text{ MVA}}{220 \text{ kV}} = 274 \text{ A}$

$I_x = X \cdot I_{2N} \Rightarrow x = \frac{I_x}{I_{2N}} = \frac{232,9}{274} = x = 0,85$

$P_{2x} = X \cdot S_N \cdot \cos \alpha_2 = 0,85 \cdot 60,3 \cdot 0,8 = 41,004 \text{ MW}$

$P_{1x} = P_{2x} + P_0 + x^2 P_{Cu} = 41,196 \text{ MW} \Rightarrow \eta = \%99,53$

Azami verim  $X_m^2 = \frac{P_0}{P_{KN}} = \frac{P_0}{P_{Cu}} = \frac{71,2}{168,4} \Rightarrow X_m = 0,65$   $P_{Cu} = P_0 = 71,2$

$P_{2x} = X_m \cdot S_N \cdot \cos \alpha = 0,65 \cdot 60,3 \cdot 0,8$

$P_{1x} = P_{2x} + P_0 + x^2 \cdot P_{Cu} = 0,65 \cdot 60,3 \cdot 0,8 + 71,2 \cdot 10^{-3} + 1 \cdot 71,2 \cdot 10^{-3}$   
 $\eta = \%99,55$

Azami koşullarda

yük akımı  $I_{2x} = X \cdot I_{2N} = 0,65 \cdot 274 \text{ A} \Rightarrow I_{2x} = 178,1 \text{ A}$

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

etkin güç  $P_{2A} = S_{2A} \cdot \cos \alpha_2 = 39,195 \cdot 0,8 = 31,3 \text{ MW}$

tepkini güç  $Q_{2A} = S_{2A} \cdot \sin \alpha_2 = 39,195 \cdot 0,6 = 23,5 \text{ MVar}$

Örnek. 250 kVA'lık üç fazlı bir dağıtım trafosunda boşta kayıp gücü  $P_0 = 930 \text{ W}$  iken kısa kayıp gücü  $P_{kV} = P_{cU} = 4600 \text{ W}$  tir.  $\cos \alpha = 0,6 \Rightarrow$  tam yükte verimi bul. kondansatör kullanarak güç katsayısı 1 yapıldığında ve aynı etkin güç çekildiğinde verimi ve tasarruf edilen  $\Delta V$  kayıp gücü hesapla

26

çıkış gücü  $P_{2x} = X \cdot S_N \cdot \cos \alpha_2 = 1 \cdot 250 \cdot 0,6 = 150 \text{ kW}$

kayıp gücü  $P_x = P_0 + x^2 \cdot P_{cU} = 0,93 + 1 \cdot 4600 = 5,53 \text{ kW}$

giriş gücü  $P_{1x} = P_{2x} + P_x = 155,53 \text{ kW}$   $\eta = \frac{P_{2x}}{P_{1x}} = \eta \cdot 96,44$

$P_{2x} = 150 \text{ kW} \Rightarrow S_x = \frac{P_{2x}}{\cos \alpha_2} = 150 \text{ kVA}$  olur

kondansatör kullanıldığında  $S_x = X \cdot S_N$  den  $x = \frac{S_x}{S_N} = \frac{150}{250} \Rightarrow x = 0,6$  olur.

kayıp gücü  $\Rightarrow P_x' = P_0 + x'^2 \cdot P_{cU} = 0,93 + (0,6)^2 \cdot 4,6 = 2,586 \text{ kW}$

giriş gücü  $\Rightarrow P_{1x}' = P_{2x} + P_x' = 152,586 \text{ kW}$   $\Rightarrow \eta = \frac{P_{2x}}{P_{1x}} = \eta \cdot 98,31$

tasarruf edilen kayıp gücü  $\Delta P_x = P_x - P_x'$   
 $= 2,944 \text{ kW}$

kayıplar azalmış verim artmıştır.

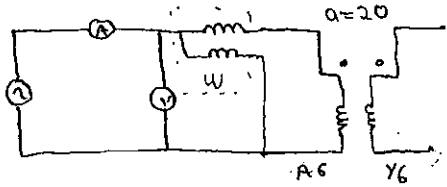
Örnek: 48 KVA 4800/240 V luk indirici trafonun bakır kayıplarına  $R_e$  -  $X_m$  parametreleri ile seri empedansın belirlenmesi için Açık ve Kısa devre testleri yapılıyor ve ölçümler.

25

	V	A	W
Açık devre	240	2	120
Kısa devre	150	10	600

⇒ trafonun parametreleri ve eşdeğer

Açık devre testi ile bakır kayıplarını bulmak için Y6 tarafı açık devre yapılır



$$R_{Fe} = \frac{V_{a\text{çık devre}}^2}{P_{a\text{çık devre}}} = \frac{240^2}{120} \Rightarrow R_{Fe} = 480 \Omega$$

$$S_{a\text{çık}} = V_{a\text{çık}} I_{a\text{çık}} = 240 \cdot 2 = 480 \text{ VA}$$

$$Q_{a\text{çık}} = \sqrt{(S_{a\text{çık}})^2 - (P_{a\text{çık}})^2} = \sqrt{480^2 - 120^2} = 464,7 \text{ VA}$$

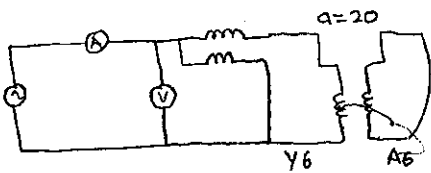
$$X_{ML} = \frac{V_{a\text{çık}}^2}{Q_{a\text{çık}}} = \frac{240^2}{464,7} \Rightarrow X_{ML} = 120,9 \Omega$$

Ölçümler A6 tarafından yapıldığı için ve eşdeğer devrede bakır kayıpları Y6 tarafında gösterildiğinden  $R_{c2}$  ve  $X_{ML}$  değerleri Y6 tarafına indirgenmelidir. ⇒  $a=20$  den

$$R_{CH} = a^2 \cdot R_{CL} = 20^2 \cdot 480 \Rightarrow R_{CH} = 192 \text{ k}\Omega$$

$$X_{MH} = a^2 \cdot X_{ML} = 20^2 \cdot 120,9 \Rightarrow X_{MH} = 48,36$$

Kısa devre testi ile seri empedansı bulmak için A6 tarafı kısa devre yapılır.

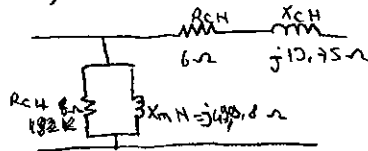


$$R_{CH} = \frac{P_{sc}}{I_{sc}^2} = \frac{600}{10^2} \Rightarrow R_{CH} = 6 \Omega$$

$$Z_{CH} = \frac{V_{sc}}{I_{sc}} = \frac{150}{10} \Rightarrow Z_{CH} = 15 \Omega$$

$$X_{CH} = \sqrt{Z_{CH}^2 - R_{CH}^2} = \sqrt{15^2 - 6^2} \Rightarrow X_{CH} = 13,75 \Omega$$

bu sonuçlara göre yaklaşık eşdeğer devre



⇒ Bu seri empedansı ayrı ayrı girise ve çıkışa indirirsek

$$R_{CL} = \frac{R_{CH}}{a^2} = \frac{6}{20^2} = 0,015 \Omega$$

$$X_{CL} = \frac{X_{CH}}{a^2} = \frac{13,75}{20^2} = 0,034 \Omega$$

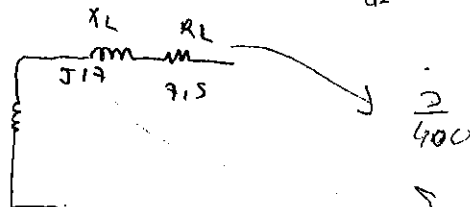
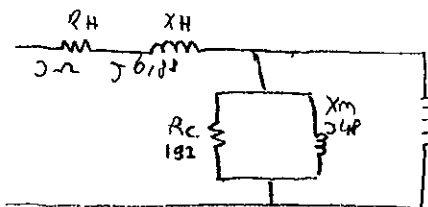
güç eşitliğinden  $I_H^2 \cdot R_H = I_L^2 \cdot R_L$

$$R_H = a^2 \cdot R_L = 0,5 \cdot R_{CL} \Rightarrow R_H = 0,5 \cdot 6 = 3 \Omega$$

$$X_H = a^2 \cdot X_L = 0,5 \cdot X_{CL} \Rightarrow X_H = 0,5 \cdot 13,75 = 6,88 \Omega$$

$$R_L = \frac{1}{a^2} \cdot R_H = 0,5 \cdot R_{CL} \Rightarrow R_L = 0,5 \cdot 0,015 = 7,5 \text{ m}\Omega$$

$$X_L = \frac{1}{a^2} \cdot X_H = 0,5 \cdot X_{CL} \Rightarrow X_L = 0,5 \cdot 0,034 = 17 \text{ m}\Omega$$



2  
400

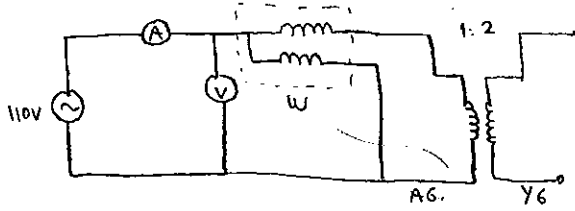
5



**Örnek** 115kVA 220V/110V 50 Hz lile tek fazlı T. üzerinde yapılan ölçümlerden A6 sargı direnci  $0,113 \Omega$  ve Y6 sargı direnci  $0,413 \Omega \Rightarrow A6$  sargıları bestenerek yapılan açık devre deneyinde gerilim 110V akım 0,4A ve güç girişi 25W okunmuştur. A6 sargıları bestenerek yapılan kısa devre deneyinde ise gerilim 8,25V akım 13,6A olarak okunmuştur.

a) Trafonun A6 tarafına indirgenmiş eş-değer devre parametrelerini bul.

### Açık devre testi



$$I_{ad} = 0,4A \quad P_{ad} = 25W \quad V_{ad} = 110V$$

$$R_{feA} = \frac{V_{ad}^2}{P_{ad}} = \frac{110^2}{25} = 484 \Omega$$

$$S_{ad} = V_{ad} \times I_{ad} = 110 \times 0,4 = 44VA$$

$$Q_{ad} = \sqrt{S_{ad}^2 - P_{ad}^2} = \sqrt{44^2 - 25^2} \quad Q_{ad} = 36,208VAR$$

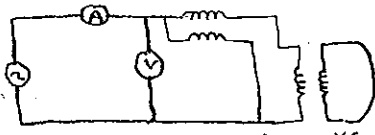
$$X_{mA} = \frac{V_{ad}^2}{Q_{ad}} = \frac{110^2}{36,208} = 334,18 \Omega$$

demir kayıplarını gösteren  $R_{fe}$  ve manyetisizlenme reaktansı Trafo Tesdeğer devresinde Y6 tarafında gösterilir. Bu nedenle girişe indirgersek. soruda A6 tarafına indirgenmiş değerler istendiğinde L esdeğer gösterilir.

$$R_{feY} = a^2 \cdot R_{feA} = 1936 \Omega$$

$$X_{mY} = a^2 \cdot X_{mA} = 1336,7 \Omega$$

### Kısa devre testi



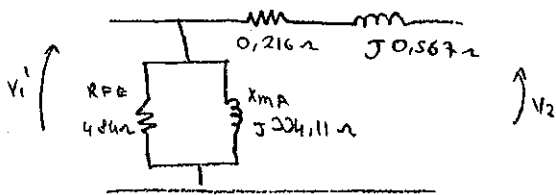
$$V_{kd} = 8,25V \quad I_{kd} = 13,6A$$

$$R_A = 0,113 \quad R_Y = 0,413 \Omega \quad R_{KA} = R_A + \frac{1}{a^2} \cdot R_Y = 0,216 \Omega$$

$$R_{KA} = \frac{P_{kd}}{I_{kd}^2} \Rightarrow P_{kd} = R_{KA} \cdot I_{kd}^2 = 40W$$

$$Z_{KA} = \frac{V_{kd}}{I_{kd}} = \frac{8,25}{13,6} = 0,607 \Omega$$

$$X_{KA} = \sqrt{Z_{KA}^2 - R_{KA}^2} = \sqrt{0,607^2 - 0,216^2} = 0,567 \Omega$$

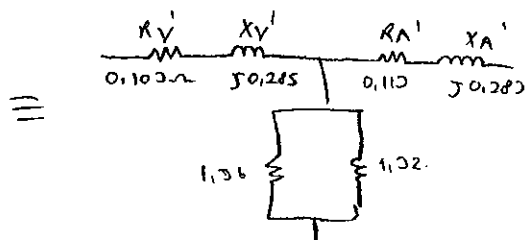
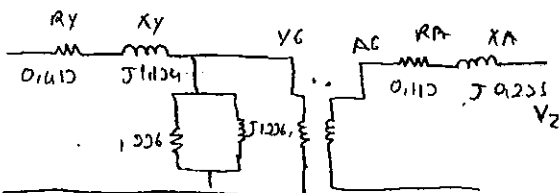


A6 tarafına (çıkışa) indirgenmiş yaklaşık eşdeğer devresi. Tesdeğer devresini çizmek için seri empedansı girişe ve çıkışa paylaştırmamız gerek.

$$X_{KA} = \frac{X_{KY}}{a^2} \Rightarrow X_{KY} = a^2 \cdot X_{KA} = 2^2 \cdot 0,567 = 2,268 \Omega$$

$$X_Y = a^2 \cdot X_A = 0,5 \cdot X_{KY} = 1,134 \Omega$$

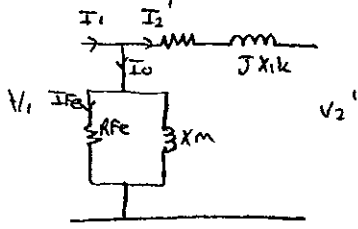
$$X_A = \frac{1}{a^2} \cdot X_Y = 0,5 \cdot X_{KA} \Rightarrow X_A = 0,5 \cdot 0,567 = 0,2835 \Omega$$



Örnek: 2,2 kVA 440/220 V 50 Hz lik trafonun L esdeğerine göre parametreleri  
 $R_{ik} = 5 \Omega$   $X_{ik} = 4 \Omega$   $R_{fe} = 2,5 k\Omega$  ve  $X_m = 2 k\Omega$  dur.  $0,707$  geri güç faktörüyle  
 tam yükte çalışan bu trafonun gerilim regülasyonu yüzde kaçtır. ( $V_R \% = ?$ )

$$a = \frac{440}{220} = 2 \quad V_2 = 220 \text{ V} \quad S = 2200 \text{ VA} \quad I_2 = \frac{2200}{220} = 10 \text{ A} \quad \cos \phi = 0,707 \Rightarrow \phi = -45^\circ$$

$$I_2 = 10 \angle -45^\circ \text{ A olur.}$$



$$I_2' = \frac{I_2}{a} = 5 \angle -45^\circ \text{ A} \quad V_2' = a \cdot V_2 = 440 \angle 0^\circ \text{ V} \quad 23$$

$$V_1 = V_2' + I_2' (R_{ik} + jX_{ik}) = 440 + (5 \angle -45^\circ) \cdot (5 + j4) = 464,76 \angle 0,44 \text{ V}$$

$$I_{fe} = \frac{V_1}{R_{fe}} = \frac{464,76 \angle 0,44}{2500} = 0,186 \angle 0,44 \text{ A}$$

$$I_m = \frac{V_1}{jX_m} = \frac{464,76 \angle 0,44}{j2000} = 0,232 \angle -89,56 \text{ A}$$

$$I_1 = I_2' + I_o = 5,296 \angle -45,33^\circ$$

$$P_o = \text{Re} [V_2' \cdot I_2'^*] = \text{Re} [(440 \angle 0^\circ) \cdot (5 \angle -45^\circ)] = 1555,6 \text{ W}$$

$$P_i = \text{Re} [V_1 \cdot I_1^*] = \text{Re} [(464,76 \angle 0,44) \cdot (5,296 \angle -45,33)] = 1716,91 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_o}{P_i} = 0,906$$

$$\eta = \%90,6$$

$$V_R \% = \frac{V_{2NL} - V_{2FL}}{V_2} = \frac{464,762 - 440}{440} \cdot 100 = \%5,63$$

~~Örnek~~ 160 kVA lik üç Fazlı bir dağıtım trafosunun katalog bosta kayıp gücü 200 w. Anma kısa devre kayıp gücü 2050 w veriliyor. güç katsayısı 0,85  $\Rightarrow$  tam ve %60 yükte verim ile azami verimi hesapla

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

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

$$\text{kayıp güç } P_x = P_o + x^2 \cdot P_{cu} = 0,2 \text{ kW} + 1^2 \cdot 2,05 \text{ kW} = 2,25 \text{ kW}$$

$$\text{giris gücü } P_{1x} = P_{2x} + P_x = 138,25 \text{ kW} \quad \Rightarrow \quad \eta = \frac{P_{2x}}{P_{1x}} = \frac{136}{138} = \%98,55$$

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

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

$$\text{kayıp güç } P_x = P_o + x^2 \cdot P_{cu} = 0,2 + (0,6)^2 \cdot 2,05 = 1,146 \text{ kW}$$

$$\text{giris gücü } P_{1x} = P_{2x} + P_x = 82,746 \text{ kW} \quad \eta = \frac{P_{2x}}{P_{1x}} = \%98,62$$

$$\text{Azami verim } X_m^2 = \frac{P_o}{P_{cu}} = \frac{200}{2050} \Rightarrow X_m = 0,317$$

$$P_{2x} = X_m \cdot S_N \cdot \cos \phi_2 = 0,317 \cdot 160 \cdot 0,85 = 42,5 \text{ kW} \quad \text{tam yükteki değeri 1}$$

$$\Rightarrow P_{cu} = P_o = 200 \text{ olur} \quad \text{kayıp güç } P_x = P_o + x^2 \cdot P_{cu} = 0,2 + 0,2 = 0,4 \text{ kW}$$

$$\text{giris gücü } P_{1x} = P_{2x} + P_x = 42,9 \text{ kW}$$

$$\text{Azami verim } \eta = \frac{P_{2x}}{P_{1x}} = \%98,78$$

2 J KVA 2300/230 V 50 Hz'lik Trafo'da  $R_1=4\Omega$   $R_2=0,04\Omega$   
 $X_1=12\Omega$   $X_2=0,12\Omega$  ve Trafo %75 yük'te çalışıyor  $0,866$  leri güç  
 Faktörüyle yüklenen trafonun birincil, ikincil akımları, sargılarda endüklenen  
 gerilimleri giriş ve çıkış etkin güçleri ve verimi bul

$$I_2 = \frac{S_2}{V_2} \cdot \gamma = \frac{23000}{230} \cdot 0,75 = 75 \text{ A} \quad \cos \phi = 0,866 \Rightarrow \phi = 30^\circ \text{ leri faz}$$

$$\text{olduğundan } I_2 = 75 \angle 30^\circ \text{ A}$$

22

$$\text{ikincil sargı empedansı } Z_2 = R_2 + jX_2 = 0,04 + j0,12 \Rightarrow$$

$$E_2 = I_2 \cdot Z_2 + V_2 = 75 \angle 30^\circ (0,04 + j0,12) + 230 = 228,2 \angle 2,3^\circ \text{ V}$$

$$\text{çevirme oranı } a = \frac{V_1 N}{V_2 N} = 10$$

$$E_1 = a \cdot E_2 \quad E_1 = 2282,8 \angle 2,3^\circ \text{ V}$$

$$I_1 = \frac{I_2}{a} = 7,5 \angle 30^\circ \text{ A}$$

$$\text{Birincil sargı empedansı } Z_1 = R_1 + jX_1 = 4 + j12 \Omega$$

$$V_1 = I_1 \cdot Z_1 + E_1 = 7,5 \angle 30^\circ (4 + j12) + 2300$$

$$= 2269,5 \angle 4,7^\circ \text{ V}$$

$$\text{çıkış gücü } P_o = \text{Re} [V_2 \cdot I_2^*]$$

$$I_2^* = 75 \angle -30^\circ$$

$$\text{Re} [230 \cdot 75 \angle -30^\circ] = 230 \cdot 75 \cdot \cos -30^\circ = 14908,9 \text{ W}$$

$$\text{giriş gücü } P_i = \text{Re} [V_1 \cdot I_1^*]$$

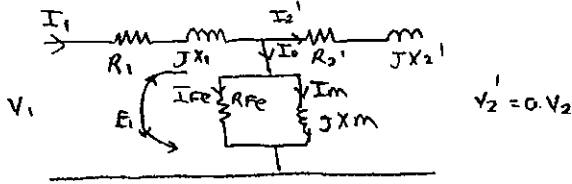
$$I_1^* = 7,5 \angle -30^\circ$$

$$\text{Re} [2269,5 \angle 4,7^\circ \cdot 7,5 \angle -30^\circ] = 15389,1 \text{ W}$$

$$\text{verim } \gamma = \frac{P_o}{P_i} = 0,971 \text{ veya } \% 97,1$$

$R_{Fe} = 20000 \Omega$   $X_m = 15k \Omega$  olursa verim ne olur

Bu durumda e>değer



$$I_{Fe} = \frac{E_1}{R_{Fe}} = \frac{2282,8 \angle 2,3^\circ}{20000} = 0,114 \angle 2,3^\circ \text{ A}$$

$$I_m = \frac{E_1}{jX_m} = \frac{2282,8 \angle 2,3^\circ}{j15000} = 0,152 \angle -87,7^\circ \text{ A}$$

$$I_o = I_{Fe} + I_m = 0,19 \angle -50,8^\circ \text{ A}$$

$$I_1 = I_o + I_2' = 0,19 \angle -50,8^\circ + 7,5 \angle 30^\circ = 7,53 \angle 28,5^\circ \text{ A}$$

$$\text{giriş çevriminden } V_1 = E_1 + I_1 \cdot Z_1 = 2282,8 \angle 2,3^\circ + (7,53 \angle 28,5^\circ) \cdot (4 + j12)$$

$$V_1 = 2271,9 \angle 4,7^\circ \text{ V}$$

$$P_{in} = \text{Re} [V_1 \cdot I_1^*] = \text{Re} [2271,9 \angle 4,7^\circ \cdot 7,53 \angle -28,5^\circ] = 15645,0 \text{ W}$$

$$\gamma = \frac{P_o}{P_i} = \frac{14908,9}{15645,0} = 0,953 \text{ veya } \% 95,3$$

$$z_1 = z_b' + z_{1k} = \frac{2565,8 + j1924,0}{z_b'} + \frac{0,7 + j92,0}{z_{1k}}$$

$$= z_1 = 3002 \quad \cos \alpha_1 = 0,796 \Rightarrow \alpha_1 = 37,2^\circ$$

$$U_1 = \frac{U_{1h}}{\sqrt{3}} = \frac{10000}{\sqrt{3}} = 5774 \text{ V}$$

$$I_2 = a \cdot I_1 = 33 \text{ A}$$

21

$$I_1 = \frac{U_1}{z_1} = \frac{5774}{3002} \Rightarrow I_1 = 1,92 \text{ A}$$

$$U_2 = z_b \cdot I_2 = 8,84 \cdot 33 \text{ A} = 291,72 \text{ V}$$

$$U_{2h} = U_2 \cdot \sqrt{3} = 505 \text{ V} \quad \cos \alpha_2 = 0,8 \Rightarrow \alpha_2 = 36,8^\circ$$

$$z_2 = z_b + z_{2\sigma} = \frac{7,072 + j5,004}{z_b = R_b + X_b} + \frac{0,12 + j0,125}{z_{2\sigma} = R_{2\sigma} + X_{2\sigma}} = 9,011 \Omega$$

$$E_2 = z_2 \cdot I_2 = 9,011 \Omega \cdot 33 = 297 \text{ V}$$

$$E_1 = a \cdot E_2 = 5664 \text{ V}$$

$$S_1 = \sqrt{3} \cdot U_{1h} \cdot I_{1h} = \sqrt{3} \cdot 10 \cdot 1,92 \text{ A} = 330 \text{ kVA}$$

$$P_1 = S_1 \cdot \cos \alpha_1 = 330 \text{ kVA} \cdot 0,7962 = 263 \text{ kW}$$

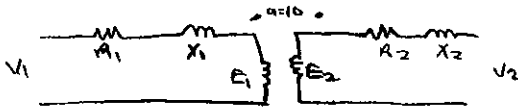
$$Q_1 = S_1 \cdot \sin \alpha_1 = 330 \cdot 0,605 = 199,65 \text{ kVAR}$$

**Örnek 2** 2000/200V 350kVA 50Hz lik tek fazlı trafonun sargı dirençleri ve reaktansları veriliyor  $R_1 = 0,083 \Omega$   $X_1 = 0,28 \Omega$   $R_2 = 0,00093 \Omega$   $X_2 = 0,0028 \Omega$   
 $R_{Fe} \rightarrow X_m \rightarrow$  trafo tam yükte çalışmakta. (tam yükte  $\cos \alpha = 1$   $\alpha = 0$ )

a) Birincil ve ikincil akımlar

$$I_2 = \frac{S_{2N}}{V_{2N}} = \frac{350000}{200} = 1750 \text{ A}$$

$$a = \frac{V_{1N}}{V_{2N}} = 10 \quad I_2 = I_1 \cdot a \Rightarrow I_1 = 175 \text{ A}$$



$$E_2 = I_2 \cdot z_2 + V_2 = 1750 \cdot (0,00093 + j0,0028) + 200$$

$$E_2 = 233,21 \angle 2,24^\circ$$

$$E_1 = a \cdot E_2 \Rightarrow$$

$$E_1 = 2332 \angle 2,24^\circ$$

b) Birincil ve ikincil sargı empedansları

$$L_1 = \frac{X_1}{\omega} = \frac{0,28}{2\pi \cdot 50} = 2,25 \text{ mH}$$

$$L_2 = \frac{X_2}{\omega} = \frac{0,0028}{2\pi \cdot 50} = 8,91 \text{ nH}$$

c) Birincil ve ikincil sargı gerilim düşümleri

$$V_1 = (R_1 + jX_1) I_1 + E_1 = (0,083 + j0,28) \cdot 175 + 2332 \angle 2,24^\circ = 2367 \angle 4,42^\circ$$

d) Birincil ve ikincil sargılarda endüklenen gerilimler

$$E_1 = 2332 \text{ V} \quad E_2 = 233,21 \text{ V}$$

e) Çevirme oranı  $a = 10$

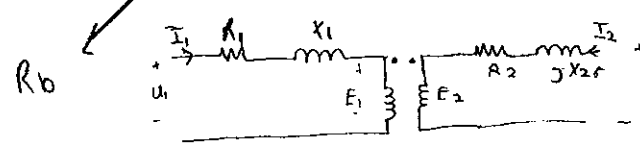
f) uc gerilimlerin birbirine oranı

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{2367}{200} = 11,835$$

~~ÖRNEK~~ 220 V / 110 V luk tek Fazlı trafoda  $R_1 = 3 \Omega$   $X_{1\sigma} = 4 \Omega$   $R_2 = 0,7 \Omega$   $X_{2\sigma} = 0,8 \Omega$   
 $R_{Fe} = \infty$   $X_m = \infty \Rightarrow$  ikincil sargıya  $(10 + j4) \Omega$  luk yük bağlansın bu durumda  
 www.oguzhancakmak.com.tr

a) Birincil akım  $I_1 = ?$

$$a = \frac{U_{1N}}{U_{2N}} = \frac{220V}{110V} = 2$$



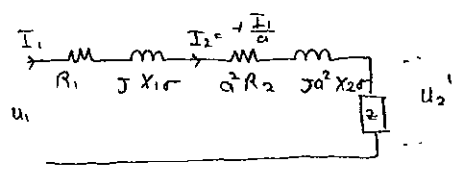
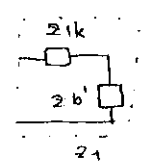
20

$$R_{lk} = R_1 + a^2 \cdot R_2 = 3 + 4 \cdot 0,7 = 5,8 \Omega$$

$$X_{lk} = X_{1\sigma} + a^2 X_{2\sigma} = 4 + 4 \cdot 0,8 = 7,2 \Omega$$

$$R_b' = a^2 \cdot R_b = 4 \cdot 10 = 40 \Omega$$

$$X_b' = a^2 \cdot X_b = 4 \cdot 4 = 16 \Omega$$



$$Z_1 = Z_b' + Z_{lk} = 40 + j16 + 5,8 + j7,2 = 45,8 + j23,2 \Rightarrow Z_1 = 51,04 \Omega \quad \alpha_1 = 26,8^\circ$$

$$I_1 = \frac{U_1}{Z_1} = \frac{220}{51,04} \Rightarrow I_1 = 4,285 A \quad \text{(b) ikincil akım } I_2 = ? \quad I_2 = a \cdot I_1 = 8,57 A$$

c) birincil faz açısı  $\alpha_1 = 26,8^\circ$

d) ikincil faz açısı  $\alpha_2 = ? \quad Z_b = \sqrt{R_b^2 + X_b^2} = \sqrt{100 + 16} = 10,77 \Omega$

$$\cos \alpha_2 = \frac{R_b}{Z_b} = \frac{10}{10,77} \quad \alpha_2 = 21,8^\circ$$

e) Endüklenen gerilim ( $E_1 = ?$   $E_2 = ?$ )

$$U_2 = Z_b \cdot I_2 = 10,77 \cdot 8,57 = 92,0 V$$

$$Z_2 = Z_b + Z_{2\sigma} = 10 + j4 + 0,7 + j0,8 = 10,7 + j4,8 \Rightarrow Z_2 = 11,7 \Omega$$

$$E_2 = Z_2 \cdot I_2 = 11,7 \cdot 8,57 = 100,5 V$$

$$E_1 = a \cdot E_2 = 201 V$$

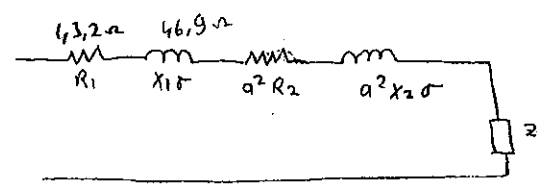
f) Birincil görünür gücü  $S_1 = ? \quad S_1 = U_1 \cdot I_1 = 220 \cdot 4,285 A = 942 VA$

g) Birincil etkin gücü  $P_1 = ? \quad P_1 = U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \alpha = 942 \cdot 0,982 = 840 W$

h) Birincil tepkin gücü  $Q_1 = ? \quad Q_1 = U_1 \cdot I_1 \cdot \sin \alpha = 426 VAR$

~~ÖRNEK~~ 10 kVA  $10^4 / 0,525 kV$  50 Hz ikitaraflı yıldız (Y-Y) bağlı üç Fazlı bir trafoda her faz için  $R_1 = 40,2 \Omega$   $X_{1\sigma} = 46,9 \Omega$   $R_2 = 0,12 \Omega$   $X_{2\sigma} = 0,125 \Omega$  veriliyor her bir faz  $8,84 \Omega$  luk bir empedansla  $0,8$  güç katsayısında yüklendiğinde birincil ve ikincil akımı, faz açısını endüklenen gerilimi hesapla. birincil ve ikincil görünür, etkin tepkin gücü bul.

$$a = \frac{10}{0,525} = 19,0476 \quad a^2 = 362,812$$



$$R_{lk} = R_1 + a^2 R_2 = 40,2 + 362,812 \cdot 0,12 = 86,7 \Omega$$

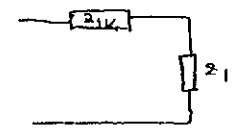
$$X_{lk} = X_{1\sigma} + a^2 X_{2\sigma} = 46,9 + 362,812 \cdot 0,125 = 92,0 \Omega$$

$$Z_b = 8,84 \quad R_b = \cos \alpha \cdot Z_b \Rightarrow R_b = 0,8 \cdot 8,84 = 7,072$$

$$R_b' = a^2 \cdot R_b = 362,812 \cdot 7,072 = 2565,8 \Omega$$

$$X_b = Z_b \cdot \sin \alpha = 8,84 \cdot 0,6 = 5,304 \Omega$$

$$X_b' = a^2 X_b = 362 \cdot 5,304 = 1924,2 \Omega$$



Örnek:  $N_1 = 100$   $N_2 = 50$  dan ideal trafo 440 V 50 Hz ile besleniyor. İlk bir direnç ile yükleniyor. Faydalı akıyı, birincil ve ikincil akımları, ampersorunları, halkalanma akımlarını ve etkin gücü hesapla. ideal trafonun yerini alabilen eşdeğer direnci bul. Akım ve gerilim diyagramını çiz.

$$\phi_m = \frac{U_1}{4,44 \cdot f \cdot N_1} = \frac{440}{4,44 \cdot 50 \cdot 100} = 1,8 \text{ mWb}$$

$$U_2 = U_1 \cdot \frac{N_2}{N_1} = 440 \cdot \frac{50}{100} = 220 \text{ V}$$

19

$$I_2 = \frac{U_2}{Z_b} = \frac{220}{10 \Omega} = 22 \text{ A}$$

$$F_2 = N_2 \cdot I_2 = 11 \text{ kA}$$

$$\lambda_{2m} = N_2 \cdot \phi_m = 50 \cdot 1,8 \text{ mWb} = 0,09 \text{ Wb}$$

$$\phi_2 = -180^\circ$$

$$P_2 = U_2 \cdot I_2 \cdot \cos \phi_2 = 220 \cdot 22 \cdot (-1) = -4,840 \text{ W}$$

$$I_1 = \frac{N_2}{N_1} \cdot I_2 = 22 \cdot \frac{50}{100} = 11 \text{ A}$$

$$F_1 = N_1 \cdot I_1 = 100 \cdot 11 = 11 \text{ kA}$$

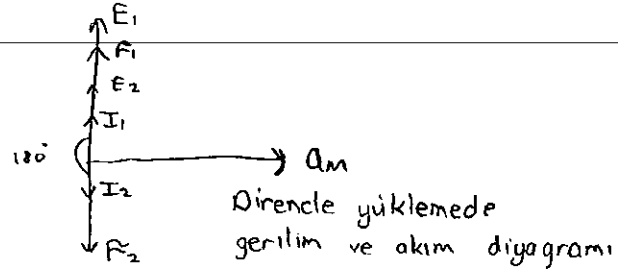
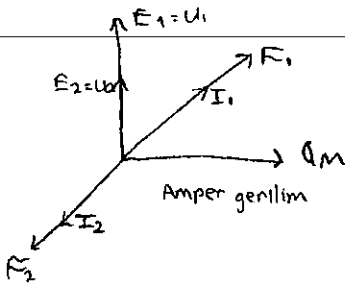
$$\lambda_{1m} = N_1 \cdot \phi_m = 100 \cdot 1,8 \text{ mWb} = 0,18 \text{ Wb}$$

$$\phi_1 = 0$$

$$P_1 = U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \phi_1 = 440 \cdot 11 \cdot 1 = 4,840 \text{ W}$$

$$a = \frac{N_1}{N_2} = 2$$

$$Z_b^1 = a^2 \cdot Z_b = 2^2 \cdot 10 = 40 \Omega$$



Örnek: ideal bir T.  $N_1 = 150$   $N_2 = 750$  dir. Birincil sargı 240 V / 50 Hz lik kaynağa bağlanıyor. 0,8 lik güç katsayısında ikinci sargıda 4 A akıtına göre

a) çevirme oranı

$$a = \frac{N_1}{N_2} = 0,2$$

c) ikincil gerilim  $\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = a \Rightarrow 1200 \text{ V}$

b) birincil akım

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2} = a \Rightarrow I_1 = 20 \text{ A}$$

d) sıkı etkin güç  $P_{yük} = V_2 \cdot I_2 \cdot \cos \phi = 2840 \text{ W}$

e) demir çekirdekte doluşun max akı

$$\phi_m = \frac{E_1}{4,44 \cdot f \cdot N_1} = \frac{240}{4,44 \cdot 50 \cdot 150} = 7,21 \text{ mWb}$$

Örnek: 100 kVA 2300 V/230 V 50 Hz'lik tek fazlı bir trafo birinci sarım sayısı 4800  
 $N_2 = 480$  faydalı demir kesiti  $12,7 \text{ cm}^2$  ve oranlanmış boşta akımı  $\%2,5$  tir. boşta faydalı akı, endüksiyon ve amper sarım ile tam ve yarı yükte sarğı ampersarımını hesaplayın. çalışmada birincil akımın yükte bileşeni ne kadardır. trafo ikincil trafodan beslenirse boşta akımı ne olur. birincil ve ikincil esas reaktans ile esas endüktansı bul.

$$\Phi_m = \frac{U_{1N}}{4,44 \cdot F \cdot N_1} = \frac{2300}{4,44 \cdot 50 \cdot 4800} \Rightarrow \Phi_m = 2,16 \text{ mwb} \quad B_m = \frac{\Phi_m}{A} = \frac{2,16 \cdot 10^{-3} \text{ wb}}{12,7 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} = 1,7 \text{ T}$$

$$I_{1N} = \frac{S_N}{U_{1N}} = \frac{100 \text{ kVA}}{2,3 \text{ kV}} \Rightarrow I_{1N} = 43,5 \text{ A} \quad I_{2N} = \frac{S_N}{U_{2N}} = \frac{100 \text{ kVA}}{230 \text{ V}} \Rightarrow I_{2N} = 435 \text{ A}$$

$$\text{Boşta akım } I_{10} = \% I_{1N} = \%2,5 \cdot 43,5 = 1,08 \text{ Amper}$$

$$\text{Boşta amper sarım (magnetomotor kuvvet)} \quad \mathcal{F} = N_1 \cdot I_{10} = 4800 \cdot 1,08 = 5,2 \text{ kA}$$

$$F_{1N} = N_1 \cdot I_{1N} = 4800 \cdot 43,5 = 208 \text{ kA}$$

$$F_{2N} = N_2 \cdot I_{2N} = 4800 \cdot 435 = 209 \text{ kA}$$

$$I_1 = \frac{I_{1N}}{2} \quad \text{ve} \quad I_2 = \frac{I_{2N}}{2} \quad \text{iken} \quad F_{1N} = F_{2N} = \frac{209}{2} = 104,5 \text{ kA olur}$$

$$\text{cevirme oranı } a = \frac{U_{1N}}{U_{2N}} = \frac{2300}{230} = 10 \quad I_1 = \frac{I_2}{a} = \frac{435}{10} = 43,5 \text{ A}$$

$$\text{Boşta } I_{20} = I_{10} \cdot \frac{U_{2N}}{U_{1N}} = 1,08 \cdot \frac{2300}{230} = 10,8 \text{ A}$$

$$X_{1h} = \frac{U_1}{I_{10}} = \frac{2300}{1,08} = 2129,6 \Omega$$

$$X_{2h} = \frac{U_2}{I_{20}} = \frac{230}{10,8} = 21,3 \Omega = \frac{X_{1h}}{a^2} = \frac{2129}{100} = 21,3 \Omega$$

$$L_{1h} = \frac{X_{1h}}{\omega} = \frac{2129}{2\pi \cdot 50} = 6,8 \text{ H}$$

$$L_{2h} = \frac{X_{2h}}{\omega} = \frac{21,3}{2\pi \cdot 50} = 68 \text{ mH}$$

Örnek: 300 kVA 11 kV/550 V 50 Hz  $\Delta/Y$  bağlı üç fazlı bir trafoda magnetik devre kesiti  $400 \text{ cm}^2$ . demir doldurma katsayıları 0,9 ve ozamlı endüksiyon  $1,27 \text{ Swb/in}$  dir. sarım gerilimini, sarım sarğıları ana akımı ve amper sarımları hesapla. bağıl boşta akım  $\%3 \Rightarrow$  boşta ampersarımı ve görünür gücü bul

$$A = F_{Fe} \cdot A_y = 0,9 \cdot 400 \text{ cm}^2 = 360 \text{ cm}^2$$

$$E_s = 4,44 \cdot F \cdot A \cdot B_m = 4,44 \cdot 50 \cdot 360 \cdot 10^{-4} \cdot 1,275 = 10,2 \text{ V}$$

$$E_1 = 11000 \quad E_2 = \frac{550}{\sqrt{3}} = 317 \text{ V}$$

$$N_1 = \frac{E_1}{E_s} = 1075 \text{ sarım}$$

$$N_2 = \frac{E_2}{E_s} = \frac{317}{10,2} = 31 \text{ sarım}$$

$$I_{1N} = \frac{S_N}{U_{1N}} = \frac{300 \text{ kVA}}{11 \text{ kV}} = 27,3 \text{ A}$$

$$I_{2N} = \frac{S_N}{U_{2N}} = \frac{300 \text{ kVA}}{0,517 \text{ kV}} = 582 \text{ A}$$

Sar

$$F_1 = N_1 \cdot I_1 = 1075 \cdot 27,3 = 29400 \text{ A}$$

$$F_2 = N_2 \cdot I_2 = 31 \cdot 582 = 18042 \text{ A}$$

$$I_{10} = \% I_{1N} = \%3 \cdot 27,3 = 0,819 \text{ A}$$

$$F_{10} = N_1 \cdot I_{10} = 1075 \cdot 0,819 = 880 \text{ A}$$

$$\text{veya } F_{10} = \% F_{1N} = \%3 \cdot 29400 = 8820 \text{ A}$$

$$S_0 = \% S_N = \%3 \cdot 300 \text{ kVA} = 900 \text{ kVA}$$

**Örnek:** 250 KVA, 20 KV/400V 50 Hz'lik tek fazlı bir trafo'nun anma akımları 0,8 güç katsayısı ile tam yüklendiğinde ikincil etkin ve tepkin güçleri hesaplayın, Aynı güç kat-sayısında Transformatör etkin gücü 100 kW ise birincil akımı, görünür ve tepkin gücü bul.

$$I_{1N} = \frac{S_N}{U_{1N}} = \frac{250.000}{20.000} = 12,5 A$$

$$I_{2N} = \frac{S_N}{U_{2N}} = \frac{250.000}{400} = 625 A$$

17

$$P_2 = S_N \cos \phi_2 = 250.000 \cdot 0,8 = 200 kW$$

$$Q_2 = S_N \sin \phi_2 = 250.000 \cdot 0,6 = 150 kVAR$$

$$I_1 = \frac{P_1}{U_1 \cos \phi_1} = \frac{100.000 W}{20000 \cdot 0,8} = 6,25 A$$

$$S_1 = U_{1N} \cdot I_1 = 20000 \cdot 6,25 = 125 kVA$$

$$Q_1 = S_1 \sin \phi_1 = 125 \cdot 0,6 = 75 kVAR$$

**Örnek:** 20 MVA, 63 / 5,5 KV 50 Hz'lik üç fazlı bir trafo'nun anma akımları 0,8 güç katsayısı ile tam yüklendiğinde ikincil etkin ve tepkin güçleri hesaplayın, Aynı güç kat-sayısında trafoda birincil etkin gücü 12 MW ise birincil akımı, görünür ve tepki gücü bul

$$I_{1N} = \frac{S_N}{\sqrt{3} \cdot U_{1N}} = \frac{20.000 kV}{\sqrt{3} \cdot 63 kV} = 183,3 A$$

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

$$P_2 = S_N \cos \phi_2 = 20 MVA \cdot 0,8 = 16 MW$$

$$Q_2 = S_N \sin \phi_2 = 20 MVA \cdot 0,6 = 12 MVAR$$

$$I_1 = \frac{P_1}{\sqrt{3} \cdot U_1 \cos \phi} = \frac{12000 kW}{\sqrt{3} \cdot 63 kV \cdot 0,8} = 137,5 A$$

$$S_1 = \frac{P_1}{\cos \phi_1} = \frac{12}{0,8} = 15 MVA$$

$$Q_1 = S_1 \sin \phi_1 = 15 \cdot 0,6 = 9 MVAR$$

**Örnek:** Sarım sayısı 1. sargıda 1320 ve 2. sargıda 46 olan tek fazlı bir trafo'nun özlemi akısı  $3,76 \cdot 10^{-2}$  Wb dir. Sargılarda 50 ve 60 Hz Frekansta endüklenen gerilim ve sarım gerilimi ne olur?

$$f = 50 \text{ Hz için } E_1 = 4,44 \cdot f \cdot N_1 \cdot \phi_m = 4,44 \cdot 50 \cdot 1320 \cdot 3,76 \cdot 10^{-2} \Rightarrow E_1 = 11018 V$$

$$E_2 = 4,44 \cdot 50 \cdot 46 \cdot 3,76 \cdot 10^{-2} \Rightarrow E_2 = 384 V$$

$$\text{sarım gerilimi } E_s = \frac{E_1}{N_1} = \frac{11018}{1320} \Rightarrow E_s = 8,3 V \quad \text{veya} \quad E_s = \frac{E_2}{N_2} = \frac{384}{46} = 8,3 V$$

**Örnek:** 2000 V/230V 50 Hz'lik tek fazlı bir trafoda birincil sarım sayısı 4800  $\Rightarrow$  Faydalı akı, ikincil sarım sayısı ve sarım gerilimini bul.

$$\phi_m = \frac{E_1}{4,44 \cdot f \cdot N_1} = \frac{2000}{4,44 \cdot 50 \cdot 4800} = 2,16 mWb$$

$$\Rightarrow \frac{U_{1N}}{U_{2N}} = \frac{N_1}{N_2} \quad N_2 = N_1 \cdot \frac{U_{2N}}{U_{1N}} = 4800 \cdot \frac{230}{2000}$$

$$N_2 = 480$$

$$E_s = \frac{U_{1N}}{N_1} = \frac{2000}{4800} = 0,417 V$$



$$14 \frac{dI_1}{dt} - 40 \frac{dX_1}{dt} + 5(I_0^2 + 2I_0 \cdot I_1) + 3(X_0^2 + 2X_0 X_1) = k$$

ihmal  $125 + 50I_1 + 12 + 12X_1 = k \Rightarrow k = 137$

b.) ihmal ettiklerimizi alırsak

$$14 \frac{dI_1}{dt} - 40 \frac{dX_1}{dt} + 50I_1 + 12X_1 = 0$$

c.) Laplace'dan faydalanırsak  $14sI_1(s) - 40sX_1(s) + 50I_1(s) + 12X_1(s)$

$$I_1(s)(14s + 50) = X_1(s)(40s - 12)$$

$$\frac{I_1(s)}{X_1(s)} = \frac{40s - 12}{14s + 50}$$

16

d.)  $x(t) = 0.5e^{-3t} \Rightarrow I(t) = ?$

e.) Kararlılık  $\frac{I(t)}{X_1(t)} \quad t \rightarrow \infty$  sabit ise kararlı,



$$\frac{dx}{dt} + \frac{2v^2}{x} = 10$$

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

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

$$\frac{d(x_0 + x_1)}{dt} = \frac{dx_0}{dt} + \frac{dx_1}{dt}$$

sabit ihmal

$$\frac{v^2}{x} = \frac{v_0^2 + 2v_1v_0}{x_0 + x_1}$$

$$= (v_0^2 + 2v_1v_0) \cdot \left( \frac{1}{x_0} - \frac{1}{x_0 + x_1} \right) \rightarrow \frac{1}{x_0} \left( 1 - \frac{x_1}{x_0} + \frac{x_1^2}{x_0^2} \right)$$

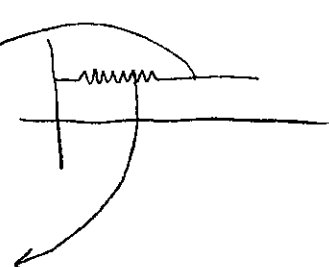
ihmal

$$\Rightarrow v_0^2 + 2v_1v_0 \cdot \left( \frac{1}{x_0} - \frac{x_1}{x_0^2} \right) \Rightarrow \frac{v_0^2}{x_0} + \frac{2v_1v_0}{x_0} - \frac{v_0^2 \cdot x_1}{x_0^2} - \frac{2v_1v_0 \cdot x_1}{x_0^2}$$

ihmal

$$\Rightarrow \frac{dx_1}{dt} + \frac{v_0^2}{x_0} + \frac{2v_1v_0}{x_0} - \frac{v_0^2 \cdot x_1}{x_0^2} = 10$$

$v_0 = 5 \Rightarrow \frac{v_0^2}{x_0} = 10 \quad x_0 = 2.5$



c.)  $\frac{dx_1}{dt} + \frac{2v_1v_0}{x_0} - \frac{v_0^2 \cdot x_1}{x_0^2} = 0$  olmalı

~~Örnek~~ Bir dönüştürücünün davranış denklemi  $\frac{A}{X} + B X I + C X \frac{dI}{dt} + D I^2 = E$

burada A, B, C, D, E birer sabit - sürekli çalışma noktası  $(X_0, I_0)$  civarındaki  $X(t), I(t)$  küçük genlikli değişimler için denklemi doğrusallaştırın

$$X(t) = X_0 + X_1(t) \Rightarrow \frac{1}{X} = \frac{1}{X_0 + X_1(t)} = \frac{1}{X_0} \cdot \frac{1}{1 + \frac{X_1}{X_0}} = \frac{1}{X_0} \cdot \left( 1 - \frac{X_1}{X_0} + \frac{X_1^2}{X_0^2} - \dots \right)$$

keser at

$$I(t) = I_0 + I_1(t)$$

$$= \frac{1}{X_0} \cdot \left( 1 - \frac{X_1}{X_0} \right)$$

15

$$I^2 = (I_0 + I_1)^2 = I_0^2 + 2I_0 \cdot I_1 + I_1^2$$

ihmal

$$X \cdot I = (X_0 + X_1) \cdot (I_0 + I_1) = X_0 I_0 + X_0 I_1 + X_1 I_0 + X_1 I_1$$

ihmal

$$X \frac{dI}{dt} = (X_0 + X_1) \cdot \frac{d(I_0 + I_1)}{dt} = (X_0 + X_1) \cdot \frac{dI_0}{dt} + (X_0 + X_1) \cdot \frac{dI_1}{dt} = X_0 \frac{dI_1}{dt} + X_1 \frac{dI_1}{dt}$$

sabit olduğundan ihmal

$$\frac{A}{X_0} \left( 1 - \frac{X_1}{X_0} \right) + B \cdot (X_0 I_0 + X_0 I_1 + X_1 I_0) + C X_0 \frac{dI_1}{dt} + D (I_0^2 + 2I_0 I_1) = E$$

Doğrusallık için değişken ifadeler alınmaz, sabit terimler alınır

$$\frac{A}{X_0} + B X_0 I_0 + D I_0^2 = E \quad \text{Doğrusallaşmış dur.}$$

$$-\frac{A}{X_0^2} \cdot X_1 + B X_0 I_1 + B X_1 I_0 + C X_0 \frac{dI_1}{dt} + 2 D I_0 I_1 = 0$$

$$\left( B I_0 - \frac{A}{X_0^2} \right) X_1 + (B X_0 + 2 D I_0) I_1 + C X_0 \frac{dI_1}{dt} = 0$$

~~Örnek~~

$$f X \frac{dI}{dt} - \beta I \frac{dX}{dt} + \gamma I^2 + \alpha X^2 = k$$

$$X = X_0 + X_1$$

$$I = I_0 + I_1$$

$$(X_0 + X_1) \cdot \frac{d(I_0 + I_1)}{dt} = (X_0 + X_1) \cdot \frac{dI_0}{dt} + (X_0 + X_1) \cdot \frac{dI_1}{dt} = X_0 \frac{dI_1}{dt} + X_1 \frac{dI_1}{dt}$$

sabit olduğundan ihmal

$$X_0 = 2$$

$$X_1 = 5$$

$$I_0 = 5$$

$$(I_0 + I_1) \cdot \frac{d(X_0 + X_1)}{dt} = (I_0 + I_1) \cdot \frac{dX_0}{dt} + (I_0 + I_1) \cdot \frac{dX_1}{dt} = I_0 \frac{dX_1}{dt} + I_1 \frac{dX_1}{dt}$$

sabit olduğundan ihmal

$$(I_0 + I_1)^2 = I_0^2 + 2I_0 I_1 + I_1^2$$

$$(X_0 + X_1)^2 = X_0^2 + 2X_0 X_1 + X_1^2$$

~~14~~ Rotoru sargısız reluktans motorun akı yoğunluğunun magnetik direnci www.oguzhancakmak.com.tr  
 $R = 6 \cdot 10^4 \cdot (2,5 + 1,5 \cos 2\theta)$  A/Wb sargının sarım sayısı 30 sargı direnci  $\approx 0$   
 sargının 220V 50Hz lik şebekeden beslenmesi durumunda

a.) Makinenin içindeki akının ifadesi

b.) Makinenin güç üretebilmesi için hangi hızda dönmesi gerekiyor.

c.)  $M_{eort \max}$  d.) c sikkındaki çıkış gücü

14

a.) Faraday yasasından  $\mathcal{V} = N \cdot \frac{d\phi}{dt}$   $\mathcal{W} = V_m \cdot \cos \omega t$

$$V_m = 220\sqrt{2} \quad \omega = 100\pi \quad N = 30$$

$$\Rightarrow 30 \cdot \frac{d\phi}{dt} = 220\sqrt{2} \cdot \cos 100\pi t \quad \Rightarrow \int d\phi = \int \frac{220\sqrt{2}}{30} \cdot \cos 100\pi t \, dt$$

$$\Rightarrow \phi = 30,01 \cdot 10^{-3} \cdot \sin 100\pi t$$

$$b.) M_e = -\frac{\phi^2}{2} \cdot \frac{dR}{d\theta} \quad \Rightarrow \frac{dR}{d\theta} = -7,5 \cdot 10^4 \sin 2\theta \quad \Rightarrow \phi^2 = 1,089 \cdot 10^{-3} \sin^2 100\pi t$$

$$M_e = 81,72 \cdot \sin^2 100\pi t \cdot \sin 2\theta \quad M_e = 81,72 \cdot \left( \frac{1 - \cos 200\pi t}{2} \right) \cdot \sin 2\theta$$

$$= 40,86 \cdot (\sin 2\theta - \sin 2\theta \cos 200\pi t)$$

$$(\sin 2\theta \cdot \cos 200\pi t) = \frac{1}{2} (\sin(2\theta + 200\pi t) + \sin(2\theta - 200\pi t)) \Rightarrow$$

$$M_e = 40,86 \left[ \sin 2\theta - \frac{1}{2} (\sin 2(\theta + 100\pi t) + \sin 2(\theta - 100\pi t)) \right]$$

$\theta = \omega_m t + \delta$  koyarsak

$$M_e = 40,86 \left[ \sin 2(\omega_m t + \delta) - \frac{1}{2} (\sin 2(\omega_m + 100\pi)t + \delta) + \sin 2(\omega_m - 100\pi)t + \delta \right]$$

$\omega_m = \bar{\omega} = 100\pi$  durumunda moment'te güç olur.

$$M_e = 40,86 \cdot \frac{1}{2} \cdot \sin 2\delta$$

$$M_e = -20,43 \sin 2\delta$$

$$M_{e \max} = 20,43$$

$$\sin 2\delta = 1$$

$$d.) P = \omega_m \cdot M_{e \max} = 20,43 \cdot 100\pi = 6,418 \text{ kW}$$

↓  
SOR

~~6.10.12~~ Rotoru sargısız bir relüktans motorun stator sargısına ilişkin endüktans  $L = 0,01 - 0,03 \cos 2\theta - 0,02 \cos 4\theta$  H, sargıdan  $I_m$  akım geçerken rotor  $\omega_m$  açısal hızla dönüyor

www.oguzhancakmak.com.tr

50 Hz lik bir akım akmakta iken rotor  $\omega_m$  açısal hızla dönüyor

a) hangi hızlarda makina moment üretebilir ?

b) a şıkkında hesaplanan hızlardaki max momentini bul ?

c) " " " " " " " " güç akısını bul

13

(11)

$$a_1) I_{eff} = I_m \sqrt{2}$$

$$I(t) = I_m \cos \omega t = \sqrt{2} \cdot \cos 2\pi \cdot f \cdot t = \sqrt{2} \cos 100\pi t$$

$$I^2 = 2 \cos^2 100\pi t = \boxed{\cos^2 \alpha = \frac{1 + \cos 2\alpha}{2}}$$

$$\Rightarrow I^2 = 2.5 + 2.5 \cos 200\pi t$$

$$M_e = \frac{I^2}{2} \cdot \frac{dL}{d\theta} \quad \text{veya} \quad M_e = -\frac{\phi^2}{2} \cdot \frac{dR}{dx} \quad \Rightarrow \frac{dL}{d\theta} = 0,06 \sin 2\theta + 0,08 \sin 4\theta$$

$$\Rightarrow M_e = (12,5 + 12,5 \cos 200\pi t) \cdot (0,06 \sin 2\theta + 0,08 \sin 4\theta)$$

$$= 0,75 \sin 2\theta + \sin 4\theta + 0,75 \cos 200\pi t \sin 2\theta + \cos 200\pi t \sin 4\theta$$

$$\boxed{\cos a \cdot \sin b = \frac{1}{2} [\sin(a+b) - \sin(a-b)]}$$

$$\Rightarrow 0,75 \sin 2\theta + \sin 4\theta + 0,375 [\sin(200\pi t + 2\theta) - \sin(200\pi t - 2\theta)] + 0,5 [\sin(200\pi t + 4\theta) - \sin(200\pi t - 4\theta)]$$

ifadeyi açar ve  $\theta = \omega_m t + \delta$  yerine yazılırsa

$$M_e = 0,75 \sin 2(\omega_m t + \delta) + \sin 4(\omega_m t + \delta) + 0,375 \sin [2(\omega_m + 100\pi)t + 2\delta] + 0,375 \sin [2(\omega_m - 100\pi)t + 2\delta] + 0,5 \sin [4(\omega_m + 50\pi)t + 4\delta] + 0,5 \sin [4(\omega_m - 50\pi)t - 4\delta]$$

Moment  $\neq 0$  durumlarda moment oluşur  $\omega_m = \mp 100\pi$  rad/s ve  $\omega_m = \pm 50\pi$  rad/s olmalıdır

$$b) \omega_m = \mp 50\pi \text{ rad/s için } M_{ort} = 0,5 \sin 4\delta \quad M_{ort \max} = 0,5 \text{ N/m}$$

$$\omega_m = \mp 100\pi \text{ rad/s için } M_{ort} = 0,375 \sin 2\delta \quad M_{ort \max} = 0,375 \text{ N/m}$$

$$c) \omega_m = \mp 50\pi \text{ rad/s için } P = \omega_m \cdot M_{ort \max} = \mp 78,53 \text{ W}$$

$$\omega_m = \mp 100\pi \text{ rad/s için } P = \omega_m \cdot M_{ort \max} = \mp 117,8 \text{ W}$$