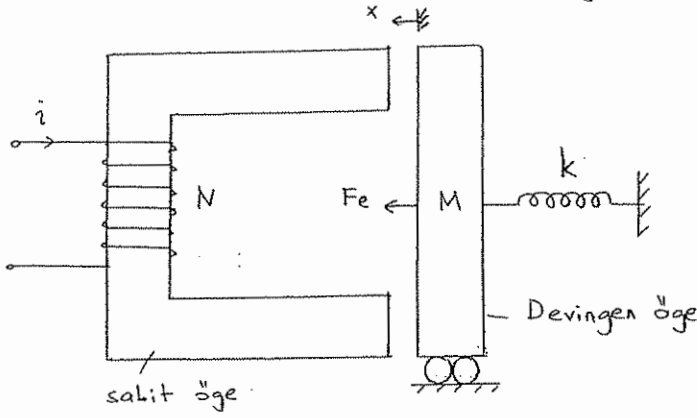


MEKANİK SİSTEMLER

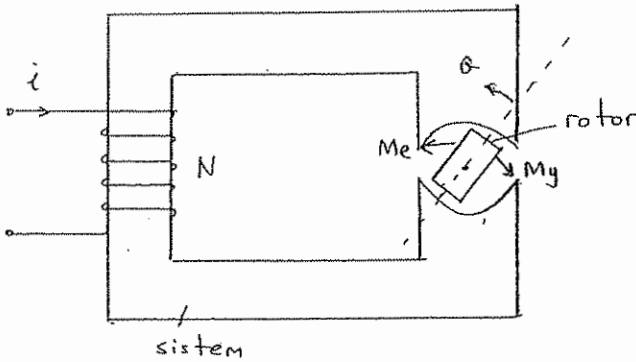
1) Düz hareket eden sistemler (doğrusal hareket)



$$F_e = M \cdot \frac{d^2x}{dt^2} + B \cdot \frac{dx}{dt} + k \cdot x + F_y \quad ; \text{ Devinin Denklemi}$$

\uparrow kütle. \uparrow sürtünme katsayısı. \uparrow yayın uzama miktarı

2) Dönme hareketi yapan sistemler.



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

\downarrow eylemsizlik momenti \downarrow yayın açısının artma miktarı

Alan yönünü değiştirerek frenlemede sargıların uçlarını değiştiririz. Bu durumda döner alan ters yöne gelir. Alan yönünü değiştirerek frenleme durumunda gerilim denklemi aşağıdaki gibidir. Başlangıç kosulu frenleme anındaki açısal hız alınmalıdır.

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

Başlangıç momenti (kalkış momenti) $\omega=0$ hızıdır.

NOT:

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

Dönme hareketi yapan sistemlerde güç;

$$P = \text{açısal hız} \times \text{moment} = \omega \cdot M$$

$$\textcircled{1} P_1 = \omega \cdot M_y \Rightarrow \text{Sürekli durumdaki güç sıtısı}$$

$$\textcircled{2} P_2 = \omega \cdot M_s = \omega \cdot B \cdot \omega$$

$$P_2 = B \cdot \omega^2 \Rightarrow \text{Sürtünme ve bakır kayıplarına harcanan}$$

güç

$$P_{cu} = P_{sür} = P_2$$

$$\textcircled{3} P_{giriş} = P_1 + P_{cu} + P_{sür} + P_{FE}$$

P_{FE} : Demir kayıpları

ELEKTROMEKANİK SİSTEMLER

Kayıpsız bağlantı alan için enerji denge denklemi:

$$F \cdot dx + V \cdot idt = dW_m$$

$$V = \frac{d\lambda}{dt}, \quad F = -F_e$$

$$F dx + i d\lambda = dW_m$$

$$\boxed{F_e \cdot dx = i d\lambda - dW_m} \quad \text{Enerji Denge Denklemi}$$

1) Bağımsız değişkenin akım olması durumu:

$$\lambda = \lambda(i, x)$$

$$W_m = W_m(i, x)$$

$$d\lambda = \frac{\partial \lambda}{\partial i} di + \frac{\partial \lambda}{\partial x} dx$$

$$dW_m = \frac{\partial W_m}{\partial i} di + \frac{\partial W_m}{\partial x} dx$$

Enerji denge denkleminde yerine yazalım.

$$F_e \cdot dx = i \cdot \frac{\partial \lambda}{\partial i} di + i \cdot \frac{\partial \lambda}{\partial x} dx - \frac{\partial W_m}{\partial i} di - \frac{\partial W_m}{\partial x} dx$$

$$\boxed{F_e = i \cdot \frac{\partial \lambda}{\partial x} - \frac{\partial W_m}{\partial x}} \quad (1)$$

2) Bağımsız değişkenin akı olması durumu:

$$W_m = W_m(\lambda, x)$$

$$dW_m = \frac{\partial W_m}{\partial \lambda} d\lambda + \frac{\partial W_m}{\partial x} dx$$

Enerji denge denkleminde yerine yazalım.

$$F_e \cdot dx = i \cdot d\lambda - \frac{\partial W_m}{\partial \lambda} d\lambda - \frac{\partial W_m}{\partial x} dx$$

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

3) Doğrusal durum:

Bağımsız değişken akımdır.

$$\lambda = L(x) \cdot i$$

$$W = \frac{1}{2} L(x) \cdot i^2$$

$$F_e = \frac{i^2}{2} \frac{dL}{dx} \quad (3)$$

4) Doğrusal durum:

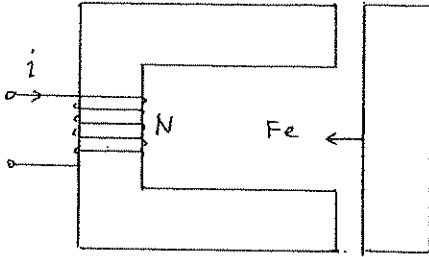
Bağımsız değişken akıdır.

$$F = R(x) \cdot \phi$$

$$W_m = \frac{1}{2} R(x) \cdot \phi^2$$

$$F_e = - \frac{\phi^2}{2} \frac{dR}{dx} \quad (4)$$

Örneğin; $L = i + x$ ise (1) nolu bağıntıdan çözülür.



$F_e : (+)$ ise hava aralığı genişler.

$F_e : (-)$ ise hava aralığı azalır.

1) Devingen ögeye etkilenen kuvvet akı yolunu, magnetik direncini küçültecek şekilde dir.

$$F_e = \frac{\phi^2}{2} \cdot \left(\frac{dR}{dx} \right) \rightarrow \text{artış}$$

azalış

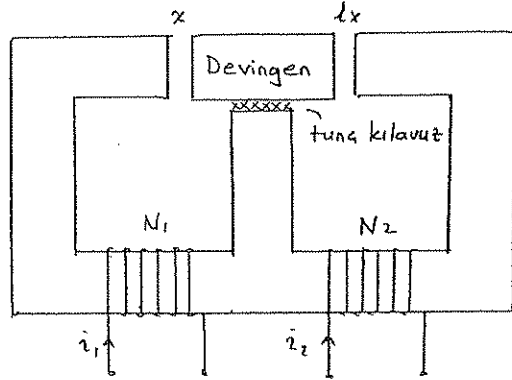
2) Sargıdan geçen akımın yönü değişirse devingen ögeye etkilenen kuvvetin yönü değişmez.

$$F_e = \frac{i^2}{2} \frac{dL}{dx}$$

+

3) Akının yönü değişirse devingen ögeye etkileyen kuvvetin yönünü de değişmez. Diğer bir deyişle kuvvetin yönü akının yönünden bağımsızdır.

Çok Uyarımlı Sistemlerde:



$$\begin{aligned} \lambda_1 &= L_{11} \cdot i_1 + L_{12} \cdot i_2 & \mathcal{F}_1 &= R_{11} \phi_1 + R_{12} \phi_2 \\ \lambda_2 &= L_{21} \cdot i_1 + L_{22} \cdot i_2 & \mathcal{F}_2 &= R_{21} \phi_1 + R_{22} \phi_2 \\ [\lambda] &= [L][i] & [\mathcal{F}] &= [R][\phi] \end{aligned}$$

* Enerji:

$$W = \frac{1}{2} [i]^t [L][i] \quad , \quad W = \frac{1}{2} [\phi]^t [R][\phi]$$

Örneğin; $W = \frac{i_1^2}{2} \cdot L_{11} + \frac{i_2^2}{2} \cdot L_{22} + i_1 \cdot i_2 \cdot L_{12}$

* Kuvvet:

$$F_e = \frac{1}{2} [i]^t \left[\frac{dL}{dx} \right] [i] \quad , \quad F_e = \frac{1}{2} [\phi]^t \left[\frac{dR}{dx} \right] [\phi]$$

Örneğin; $F_e = \frac{i_1^2}{2} \frac{dL_{11}}{dx} + \frac{i_2^2}{2} \frac{dL_{22}}{dx} + i_1 \cdot i_2 \cdot L_{12}$

* Moment:

$$M_e = \frac{1}{2} [i]^t \left[\frac{dL}{d\theta} \right] [i] \quad , \quad M_e = \frac{1}{2} [\phi]^t \left[\frac{dR}{d\theta} \right] [\phi]$$

Örneğin; $M_e = \frac{i_1^2}{2} \frac{dL_{11}}{d\theta} + \frac{i_2^2}{2} \frac{dL_{22}}{d\theta} + i_1 \cdot i_2 \cdot L_{12}$

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1 & 0 \\ 0 & R_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} L_{11} & L_{12} \\ L_{21} & L_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix}$$

* Bir sargı için;

$$F_e = \frac{i^2}{2} \frac{dL}{dx}, \quad F_e = -\frac{\Phi^2}{2} \frac{dR}{dx}$$

$W = \int_{x_1}^{x_2} F_e \cdot dx$ ise, F_e kuvvetini yerine yazalım.

$$W = \int_{x_1}^{x_2} \left(\frac{i^2}{2} \frac{dL}{dx} \right) \cdot dx = \frac{i^2}{2} L \Big|_{x_1}^{x_2}$$

veya

$$W = \int_{x_1}^{x_2} \left(\frac{\Phi^2}{2} \frac{dR}{dx} \right) \cdot dx = \frac{\Phi^2}{2} R \Big|_{x_1}^{x_2} \text{ olur.}$$

$$M_e = \frac{i^2}{2} \frac{dL}{d\theta}, \quad M_e = -\frac{\Phi^2}{2} \frac{dR}{d\theta}$$

* İki sargı için;

$$F_e = \frac{i_1^2}{2} \frac{dL_{11}}{dx} + \frac{i_2^2}{2} \frac{dL_{22}}{dx} + i_1 \cdot i_2 \cdot \frac{dL_{12}}{dx}$$

$$F_e = -\frac{\Phi_1^2}{2} \frac{dR_{11}}{dx} - \frac{\Phi_2^2}{2} \frac{dR_{22}}{dx} - \Phi_1 \cdot \Phi_2 \cdot \frac{dR_{12}}{dx}$$

$W = \int_{x_1}^{x_2} F_e \cdot dx$ ise, F_e kuvvetini yerine yazalım.

$$W = \int_{x_1}^{x_2} \left(\frac{i_1^2}{2} \frac{dL_{11}}{dx} + \frac{i_2^2}{2} \frac{dL_{22}}{dx} + i_1 \cdot i_2 \cdot \frac{dL_{12}}{dx} \right) \cdot dx$$

$$= \frac{i_1^2}{2} L_{11} + \frac{i_2^2}{2} L_{22} + i_1 \cdot i_2 \cdot L_{12} \Big|_{x_1}^{x_2}$$

1. Sargının enerjisi:

$$W_1 = \frac{i_1^2}{2} L_{11} + \frac{1}{2} i_1 \cdot i_2 \cdot L_{12} \Big|_{x_1}^{x_2}$$

$$M_e = \frac{i_1^2}{2} \frac{dL_{11}}{d\theta} + \frac{i_1 \cdot i_2}{2} \frac{dL_{12}}{d\theta} + \frac{i_2^2}{2} \frac{dL_{22}}{d\theta}$$

$$M_e = -\frac{\Phi_1^2}{2} \frac{dR_{11}}{d\theta} - \frac{\Phi_1 \cdot \Phi_2}{2} \frac{dR_{12}}{d\theta} - \frac{\Phi_2^2}{2} \frac{dR_{22}}{d\theta}$$

2. Sargının enerjisi:

$$W_2 = \frac{i_2^2}{2} L_{22} + \frac{1}{2} i_1 \cdot i_2 \cdot L_{12} \Big|_{x_1}^{x_2}$$

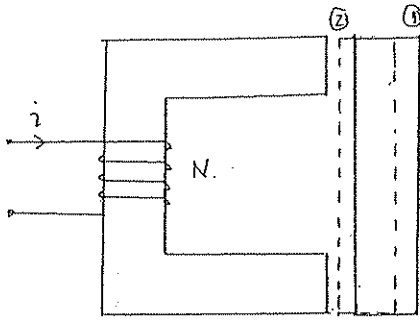
Ortalama değer:

$$\frac{1}{T} \int_0^T F(t) dt$$

$$W = \frac{1}{2} J \omega^2$$

EI = W.M. Güç eşitliđi

Açma ve Kapama Olayları:

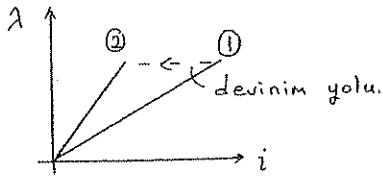


Devinim sonucunda devingen parça ① konumundan ② konumuna gelir.

Bu sırada oluşan olayı 3 kısımda inceleyebiliriz.

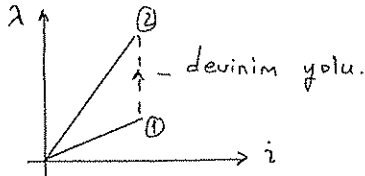
1) Devinimin çok hızlı olması durumu:

Bu durumda devinim sırasında akımın sabit kaldığı varsayılır.

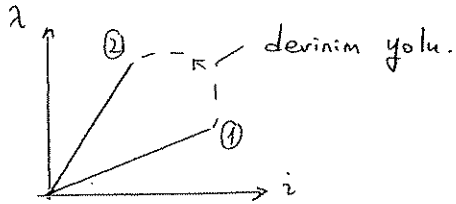


2) Devinimin çok yavaş olması durumu:

Bu durumda devinim sırasında akımın sabit kaldığı varsayılır.



3) Devinimin ne o kadar hızlı ne o kadar yavaş olması durumu:



Tümleyen Enerji (Co-enerji)

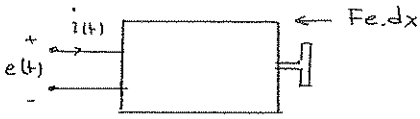
Tümleyen enerji fiziksel bir karşılığı olmayan ancak problem çözümünde kolaylık sağlayan bir kavramdır. Tepkin gücü kavramında olduğu gibi.

Elektromekanik dönüştürücüleri içerdikleri alan açısından iki kısımda inceleyebiliriz.

- 1) Magnetik alan içeren dönüştürücüler.
- 2) Elektriksel alan içeren dönüştürücüler.

Elektromekanik dönüştürücüler içerdikleri kapılara göre üç kısımda incelenir:

- 1) Bir elektriksel ve bir mekanik kapağı olan sistemler:



$$dW = dW_e - dW_{mek}$$

$$dW = i \cdot d\lambda - F_e \cdot dx \quad \text{Enerji denge denklemi (EDD)}$$

Enerji dönüşümünün önemli bir yol ayrımı olan bağımsız değişkenin akım mı yoksa akı mı olduğu sorusuyla karşılaşılır.

- a) Bağımsız değişkenin akı (λ, x) olması durumu:

$$W = W(\lambda, x)$$

Enerjinin tam diferansiyelini alalım.

$$dW = \frac{\partial W}{\partial \lambda} d\lambda + \frac{\partial W}{\partial x} dx$$

bu ifade ile EDD karşılaştırılır.

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

- b) Bağımsız değişkenin akım (i, x) olması durumu:

$$\lambda = \lambda(i, x)$$

$$W = W(i, x)$$

Akı ifadesinin tam diferansiyelini alalım.

$$d\lambda = \frac{\partial \lambda}{\partial i} di + \frac{\partial \lambda}{\partial x} dx$$

bu ifadeyi EDD 'de yerine yazalım.

$$dW = i \left(\frac{\partial \lambda}{\partial i} di + \frac{\partial \lambda}{\partial x} dx \right) - Fe dx$$

veya

$$dW = i \frac{\partial \lambda}{\partial i} di + \left(i \frac{\partial \lambda}{\partial x} - Fe \right) dx \quad (1)$$

Enerjinin tam diferansiyelini alalım.

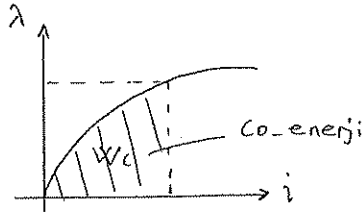
$$dW = \frac{\partial W}{\partial i} di + \frac{\partial W}{\partial x} dx \quad (2)$$

① ve ② nolu denklemlerde dx katsayısı eşitlenirse,

$$\frac{\partial W}{\partial x} = i \frac{\partial \lambda}{\partial x} - Fe$$

$$Fe = i \frac{\partial \lambda}{\partial x} - \frac{\partial W}{\partial x}$$

$$Fe = \frac{\partial}{\partial x} [i \lambda - W]$$

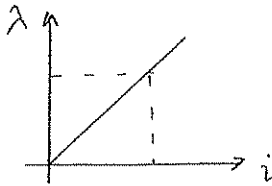


$$W_c = i \lambda - W$$

$$Fe = \frac{\partial W_c}{\partial x}$$

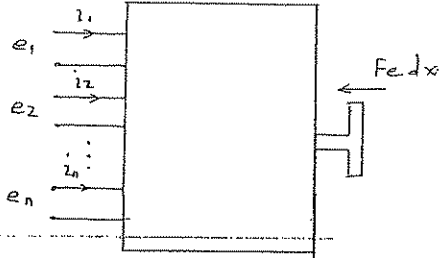
Kural: Bağımsız değişken akı ise enerji bulunur x'e göre türev alınır ve negatif işaretli kuvveti verir. Bağımsız değişken akım ise co-enerji bulunur x'e göre türev alınır ve pozitif işaretli kuvveti verir.

Bir sistemin doğrusal olup olmadığını anlamak için sistemin enerjisi ve co-enerjisine bakılır. Bu iki değer birbirine eşitse sistem doğrusaldır. Diğer bir deyişle doğrusal sistemlerde enerji co-enerjiye eşittir.



$$W = W_c \text{ doğrusal sistem.}$$

2) Birden fazla elektriksel kapasite ve bir mekanik kapasite olan sistemler:



$$dW_c = i_1 d\lambda_1 + i_2 d\lambda_2 + \dots + i_n d\lambda_n$$

$$dW_{mek} = F_e dx$$

$$dW = i_1 d\lambda_1 + i_2 d\lambda_2 + \dots + i_n d\lambda_n - F_e dx \quad \text{Enerji denge denklemi}$$

a) Akılların bağımsız değişken olması durumu:

$$W = W(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n, x)$$

EDD'den,

$$F_e = - \frac{\partial W(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n, x)}{\partial x}$$

b) Akımların bağımsız değişken olması durumu:

$$\lambda_i = \lambda_i(i_1, i_2, \dots, i_n, x)$$

$$W = W(i_1, i_2, \dots, i_n, x)$$

tam diferansiyelleri alınıp EDD yerine yazılır.

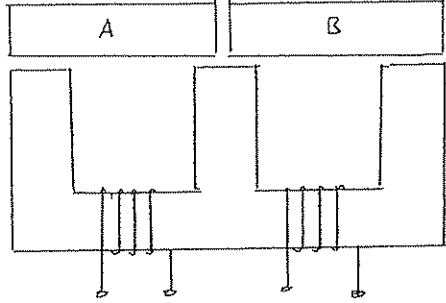
Gök girişli sistemde tümleyen enerji;

$$W_c = \sum_{i=1}^n i_i \lambda_i(i_1, i_2, \dots, i_n, x) - W(i_1, i_2, \dots, i_n, x)$$

Kuvvet ifadesi,

$$F_e = + \frac{\partial W_c(i_1, i_2, \dots, i_n, x)}{\partial x}$$

3) Birden fazla elektriksel kapasite ve birden fazla mekanik kapasite olan sistemler:



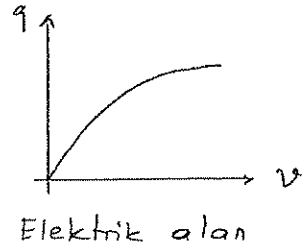
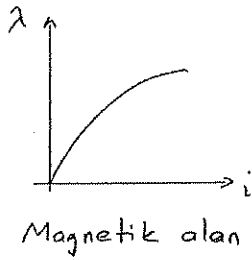
Akılama bağımsız değişken olması durumunda,

$$F_e = - \frac{\partial W(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n, x_1, x_2, \dots, x_m)}{\partial x}$$

Akımın bağımsız değişken olması durumunda,

$$F_e = + \frac{\partial W_c(i_1, i_2, \dots, i_n, x_1, x_2, \dots, x_m)}{\partial x}$$

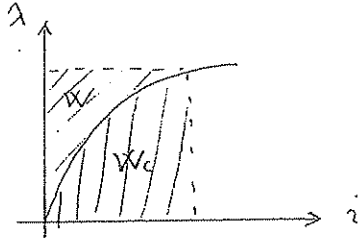
Elektrik alanlı dönüştürücüler:



Benzerlik : $\lambda \Leftrightarrow q$
 $i \Leftrightarrow v$
 $L \Leftrightarrow C$

$$F_e = \frac{i^2}{2} \frac{dL}{dx} \Rightarrow \boxed{F_e = \frac{v^2}{2} \frac{dC}{dx}}$$

** Bir elektriksel ve bir mekanik kapaşı olan sistem:



Sistemin magnetik enerjisi:

$$W = \int_0^{\lambda} i \cdot d\lambda \quad (\text{Akı bağımsız değişken})$$

Sistemin co-enerjisi:

$$W_c = \int_0^i \lambda \cdot di \quad (\text{Akım bağımsız değişken})$$

Mekanik kapaşıya etkileyen kuvvet:

1) Akı bağımsız değişken ise;

$$W = \int_0^{\lambda} i \cdot d\lambda \quad \text{bulunur.}$$

$$F_e = - \frac{\partial W}{\partial x} \quad \text{kuvvet bulunur.}$$

$$W_c = i \cdot \lambda - W \quad \text{co-enerji bulunur.}$$

2) Akım bağımsız değişken ise;

$$W_c = \int_0^i \lambda \cdot di \quad \text{bulunur.}$$

$$F_e = + \frac{\partial W_c}{\partial x} \quad \text{kuvvet bulunur.}$$

$$W = i \cdot \lambda - W_c \quad \text{enerji bulunur.}$$

** Birden fazla elektriksel ve birden fazla mekanik kapaşı olan sistem:

1) Akı bağımsız değişken ise; *Dönme hareketi yaparsa x, θ olur.

$$\begin{aligned} W = & \int_0^{\lambda_1} i_1 (\lambda_1, 0, \dots, 0, x_1, x_2, \dots, x_m) d\lambda_1 \\ & + \int_0^{\lambda_2} i_2 (\lambda_1, \lambda_2, 0, \dots, 0, x_1, x_2, \dots, x_m) \cdot d\lambda_2 \\ & + \int_0^{\lambda_3} i_3 (\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, 0, \dots, 0, x_1, x_2, \dots, x_m) \cdot d\lambda_3 \\ & \dots \\ & + \int_0^{\lambda_n} i_n (\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n, x_1, x_2, \dots, x_m) d\lambda_n \end{aligned}$$

1. mekanik kapağa etkijen kuvvet ve moment,

$$F_{e1} = - \frac{\partial W}{\partial x_1}, \quad M_{e1} = - \frac{\partial W}{\partial \theta_1}$$

2. mekanik kapağa etkijen kuvvet ve moment,

$$F_{e2} = - \frac{\partial W}{\partial x_2}, \quad M_{e2} = - \frac{\partial W}{\partial \theta_2}$$

⋮

m. mekanik kapağa etkijen kuvvet

$$F_{em} = - \frac{\partial W}{\partial x_m}, \quad M_{em} = - \frac{\partial W}{\partial \theta_m}$$

Sistemin co-enerjisi,

$$W_c = \int_0^{i_1} \lambda_1 di_1 + \int_0^{i_2} \lambda_2 di_2 + \dots + \int_0^{i_n} \lambda_n di_n - W$$

2) Akım bağımsız değisken ise, *Dönme hareketi yaparsa x, θ olur.

$$\begin{aligned} W_c = & \int_0^{i_1} \lambda_1 (i_1, 0, \dots, 0, x_1, x_2, \dots, x_m) di_1 \\ & + \int_0^{i_2} \lambda_2 (i_1, i_2, 0, \dots, 0, x_1, x_2, \dots, x_m) di_2 \\ & + \int_0^{i_3} \lambda_3 (i_1, i_2, i_3, 0, \dots, 0, x_1, x_2, \dots, x_m) di_3 \\ & \dots \\ & + \int_0^{i_n} \lambda_n (i_1, i_2, i_3, \dots, i_n, x_1, x_2, \dots, x_m) di_n \end{aligned}$$

1. mekanik kapağa etkijen kuvvet ve moment,

$$F_{e1} = + \frac{\partial W_c}{\partial x_1}, \quad M_{e1} = + \frac{\partial W_c}{\partial \theta_1}$$

2. mekanik kapağa etkijen kuvvet ve moment,

$$F_{e2} = + \frac{\partial W_c}{\partial x_2}, \quad M_{e2} = + \frac{\partial W_c}{\partial \theta_2}$$

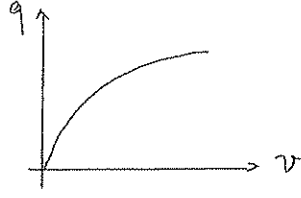
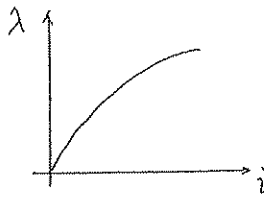
⋮

m. mekanik kapağa etkijen kuvvet ve moment,

$$F_{em} = + \frac{\partial W_c}{\partial x_m}, \quad M_{em} = + \frac{\partial W_c}{\partial \theta_m}$$

Sistemin magnetik enerjisi:

$$W = i_1 \lambda_1 + i_2 \lambda_2 + \dots + i_n \lambda_n = W_c$$



$$\begin{aligned} \lambda &\Leftrightarrow q \\ i &\Leftrightarrow v \\ L &\Leftrightarrow C \end{aligned}$$

$$W = \int_0^q v \cdot dq \quad : \text{Sistemin magnetik enerjisi}$$

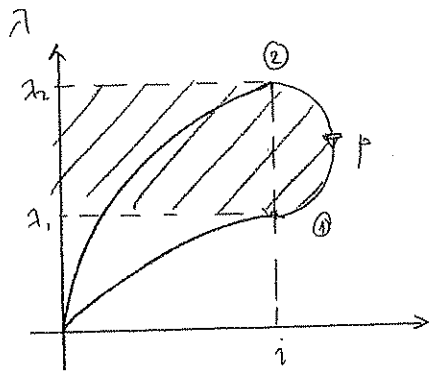
$$W_c = \int_0^v q \cdot dv \quad : \text{Sistemin co-enerjisi}$$

Benzer islemler bunlar için uygulanır.

Bağımsız değişkenin q olması durumunda,

Bağımsız değişkenin v olması durumunda,

olayları incelenir.



Mekanik enerji

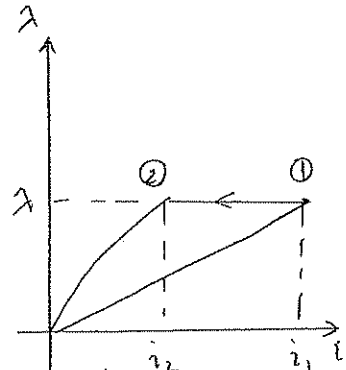
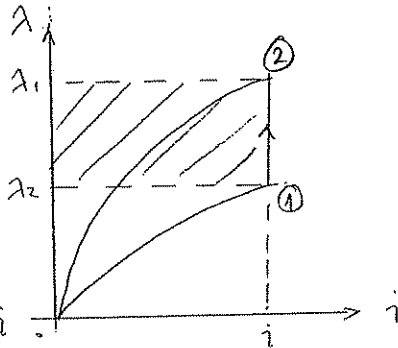
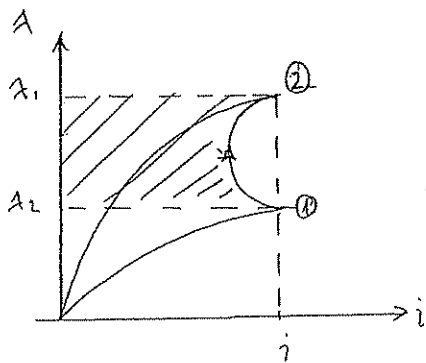
$$i d\lambda = \overline{F \cdot dx} + dW$$

Sisteme depo edilen magnetik enerji

grafik $\Rightarrow \Delta W = W_2 - W_1$

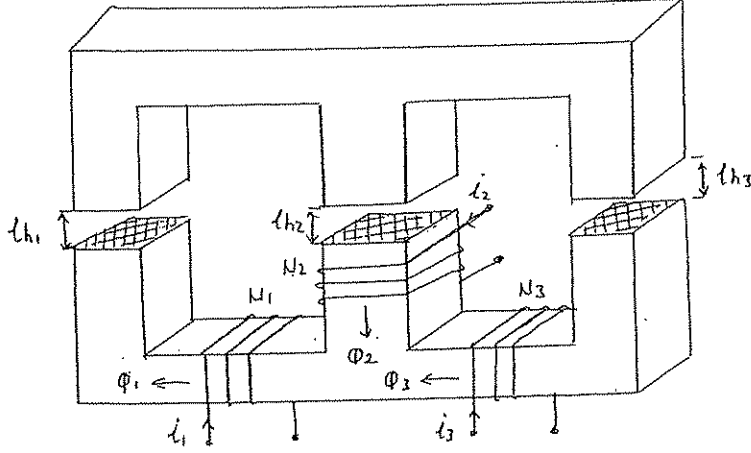
Sisteme girer elektrik enerjisi

grafik \Rightarrow Taralı alan



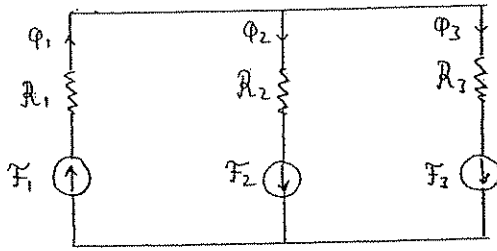
Sistem elektrik enerjisi almaz.

SORU:



Şekilde görülen üç yarıtmalı magnetik sistemi kesiti her yerde 15 cm^2 dir. Sargıların sarım sayıları $N_1=100$, $N_2=200$, $N_3=300$, hava aralığı boyları ise $l_1=1 \text{ mm}$, $l_2=2 \text{ mm}$, $l_3=3 \text{ mm}$ 'dir. Malzemenin bağıl magnetik geçirgenliği sonsuz büyük, kocak akılar ve hava aralığındaki akı saptmaları yok varsayılabilir kadar küçüktür. Sargıların öz ve ortak emdüktanslarını;

- 1) Magnetik devreye ilişkin çevre denklemlerinden yararlanılarak,
- 2) Toplamsallık ilkesinden yararlanarak bulunuz.



Üç yarıtmalı magnetik sistemin eşdeğer devresi

$$R_1 = \frac{l_1}{\mu \cdot A} = \frac{1 \times 10^{-3}}{4\pi \times 10^{-7} \times 15 \times 10^{-4}} = 0,5305 \times 10^6 \text{ A/Wb}$$

$$R_2 = \frac{l_2}{\mu \cdot A} = \frac{2 \times 10^{-3}}{4\pi \times 10^{-7} \times 15 \times 10^{-4}} = 1,061 \times 10^6 \text{ A/Wb}$$

$$R_3 = \frac{l_3}{\mu \cdot A} = \frac{3 \times 10^{-3}}{4\pi \times 10^{-7} \times 15 \times 10^{-4}} = 1,592 \times 10^6 \text{ A/Wb}$$

a) Magnetik devreye ilişkin denklemleri yazalım.

$$F_1 + F_2 = R_1 \cdot \Phi_1 + R_2 \cdot \Phi_2 \quad N_1 \cdot i_1 + N_2 \cdot i_2 = R_1 \cdot \Phi_1 + R_2 \cdot \Phi_2$$

$$F_1 - F_2 = R_3 \cdot \Phi_3 - R_2 \cdot \Phi_2 \quad N_3 \cdot i_3 - N_2 \cdot i_2 = R_3 \cdot \Phi_3 - R_2 \cdot \Phi_2$$

$$0 = \Phi_1 - \Phi_2 - \Phi_3$$

$$0 = \Phi_1 - \Phi_2 - \Phi_3$$

Bu denklemlerden akıların akımlar cinsinden çözelim.

$$\begin{bmatrix} \Phi_1 \\ \Phi_2 \\ \Phi_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{N_1 \cdot (R_2 + R_3)}{R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3} & \frac{N_2 \cdot R_3}{A} & \frac{N_3 \cdot R_3}{A} \\ \frac{N_1 \cdot R_3}{A} & \frac{N_2 \cdot (R_1 + R_3)}{A} & -\frac{N_3 \cdot R_1}{A} \\ \frac{N_1 \cdot R_2}{A} & -\frac{N_2 \cdot R_1}{A} & \frac{N_3 \cdot (R_1 + R_2)}{A} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \end{bmatrix}$$

Bu denklem toplam akı ve akımlar cinsinden yeniden yazılabilir.

$$\begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \lambda_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{N_1^2 \cdot (R_2 + R_3)}{A} & \frac{N_1 \cdot N_2 \cdot R_3}{A} & \frac{N_1 \cdot N_3 \cdot R_3}{A} \\ \frac{N_1 \cdot N_2 \cdot R_3}{A} & \frac{N_2^2 \cdot (R_1 + R_3)}{A} & -\frac{N_2 \cdot N_3 \cdot R_1}{A} \\ \frac{N_1 \cdot N_3 \cdot R_2}{A} & -\frac{N_2 \cdot N_3 \cdot R_1}{A} & \frac{N_3^2 \cdot (R_1 + R_2)}{A} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \end{bmatrix}$$

Endüktans matrisinin tanım bağıntısını anımsayalım.

$$\begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \lambda_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{11} & L_{12} & L_{13} \\ L_{21} & L_{22} & L_{23} \\ L_{31} & L_{32} & L_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \end{bmatrix} \quad \text{Bu tanımdan yararlanarak endüktans matrisini yazabiliriz.} \\ [L] = [X]$$

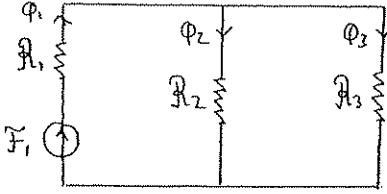
Endüktans matrisini sayısal olarak yazalım.

$$\begin{bmatrix} L_{11} & L_{12} & L_{13} \\ L_{21} & L_{22} & L_{23} \\ L_{31} & L_{32} & L_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4,545 & 2,727 & 5,455 \\ 2,727 & 14,55 & -5,455 \\ 5,455 & -5,455 & 24,55 \end{bmatrix}$$

* X matrisi simetriktir. Simetrik çıkmazsa işlem yanlıştır.

b) Toplamsallık ilkesini magnetik devreye uygulayalım.

$i_2=0$ ve $i_3=0$ alalım.



L_{11} 'i hesaplayalım:

$$\phi_1 = \frac{F_1}{R_1 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}} = \frac{N_1 \cdot i_1 \cdot (R_2 + R_3)}{R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3}$$

$$L_{11} = \frac{N_1 \cdot \phi_1}{i_1} = \frac{N_1^2 \cdot (R_2 + R_3)}{R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3}$$

L_{12} 'i hesaplayalım:

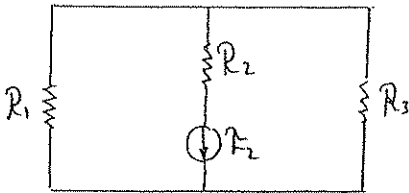
$$\phi_2 = \frac{F_1}{R_1 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}} \cdot \frac{R_3}{R_2 + R_3} = \frac{N_1 \cdot i_1 \cdot R_3}{R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3}$$

$$L_{12} = \frac{N_2 \cdot \phi_2}{i_1} = \frac{N_1 \cdot N_2 \cdot R_3}{R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3}$$

L_{13} 'i hesaplayalım:

$$\phi_3 = \frac{F_1}{R_1 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}} \cdot \frac{R_2}{R_2 + R_3} = \frac{N_1 \cdot i_1 \cdot R_2}{R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3}$$

$i_1=0$ ve $i_3=0$ alalım. $\frac{R_2}{R_2 + R_3}$



L_{22} 'i hesaplayalım:

$$\phi_2 = \frac{F_2}{R_2 + \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_3}} = \frac{N_2 \cdot i_2 \cdot (R_1 + R_3)}{R_1 \cdot R_2 + R_2 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_3}$$

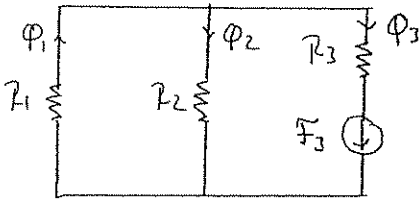
$$L_{22} = \frac{N_2 \cdot \phi_2}{i_2} = \frac{N_2^2 \cdot i_2 \cdot (R_1 + R_3)}{R_1 \cdot R_2 + R_2 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_3}$$

L_{23} 'ü hesaplayalım:

$$\phi_3 = - \frac{F_2}{R_2 + \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_3}} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_3} = - \frac{N_2 \cdot i_2 \cdot R_1}{R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3}$$

$$L_{23} = \frac{N_3 \cdot \phi_3}{i_2} = - \frac{N_2 \cdot N_3 \cdot R_1}{R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3}$$

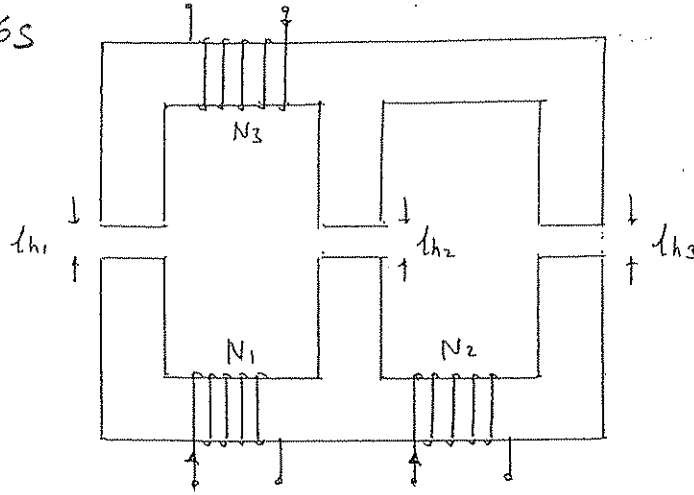
$i_1 = 0$ ve $i_2 = 0$ alalım.



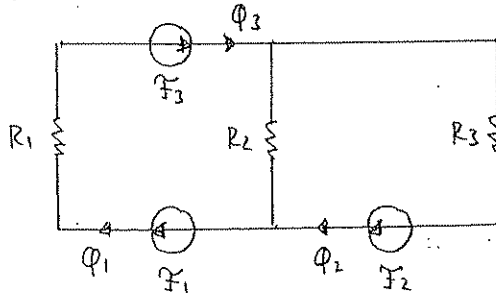
L_{33} 'ü hesaplayalım:

$$\phi_3 = \frac{F_3}{R_3 + \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}} = \frac{N_3 \cdot i_3 \cdot (R_1 + R_2)}{R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_2}$$

$$L_{33} = \frac{N_3 \cdot \phi_3}{i_3} = \frac{N_3^2 \cdot (R_1 + R_2)}{R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3}$$

SORU: 1-26S

Şekilde gösterilen üç uyarımlı magnetik sistemin kesiti her yerde aynı 25 cm^2 dir. Sarım sayıları $N_1=3500$, $N_2=2500$, $N_3=1500$ hava aralıkları boyları ise $l_{h1}=2 \text{ mm}$, $l_{h2}=1 \text{ mm}$, $l_{h3}=3 \text{ mm}$ dir. Malzemenin bağıl magnetik geçirgenliği sonsuz büyük, kaçak akılar ve hava aralığındaki akı sapsmaları yok varsayılabilecek kadar küçüktür. Sargıların öz ve ortak endüktanslarını bulunuz.



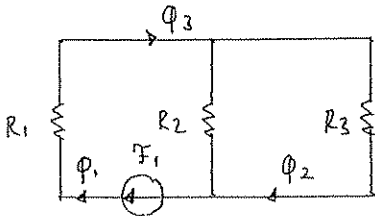
$$R_1 = \frac{l_{h1}}{\mu_0 A_1} = 0,637 \times 10^6 \text{ A/W.}$$

$$R_2 = \frac{l_{h2}}{\mu_0 A_2} = 0,318 \times 10^6 \text{ A/W.}$$

$$R_3 = \frac{l_{h3}}{\mu_0 A_3} = 0,955 \times 10^6 \text{ A/W.}$$

$i_2=0$, $i_3=0$ olsun.

$$R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3 = 8,109 \times 10^{11} \text{ A/W.}$$



L_{11} 'i hesaplayalım.

$$\phi_1 = \frac{F_1}{R_1 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}} = \frac{N_1 \cdot i_1 (R_2 + R_3)}{R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3}$$

$$L_{11} = \frac{N_1 \cdot \phi_1}{i_1} = \frac{N_1^2 (R_2 + R_3)}{R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3} = 19,23 \text{ H.}$$

L_{12} 'yi hesaplayalım.

$$\Phi_2 = \frac{N_1 \cdot i_1}{R_1 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}} \cdot \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} \cdot \frac{1}{R_3} = \frac{N_1 \cdot i_1 \cdot R_2}{R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3}$$

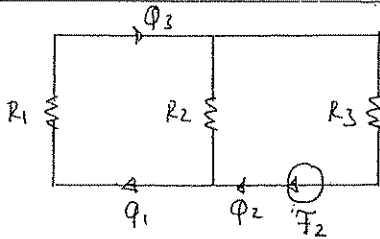
$$L_{12} = \frac{N_2 \cdot \Phi_2}{i_1} = \frac{N_1 \cdot N_2 \cdot R_2}{R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3} = 3,431 \text{ H.}$$

L_{13} 'ü hesaplayalım.

$$\Phi_3 = \Phi_1$$

$$L_{13} = \frac{N_3 \cdot \Phi_3}{i_1} = \frac{N_1 \cdot N_3 \cdot (R_2 + R_3)}{R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3} = 8,242 \text{ H.}$$

$i_1 = 0$, $i_3 = 0$ olsun.



L_{22} 'yi hesaplayalım.

$$\Phi_2 = \frac{i_2}{R_3 + \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}} = \frac{N_2 \cdot i_2 \cdot (R_1 + R_2)}{R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3}$$

$$L_{22} = \frac{N_2 \cdot \Phi_2}{i_2} = \frac{N_2^2 \cdot (R_1 + R_2)}{R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3} = 7,361 \text{ H.}$$

L_{23} 'ü hesaplayalım.

$$\Phi_3 = \frac{N_2 \cdot i_2}{R_3 + \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}} \cdot \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \cdot \frac{1}{R_1} = \frac{N_2 \cdot i_2 \cdot R_2}{R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3}$$

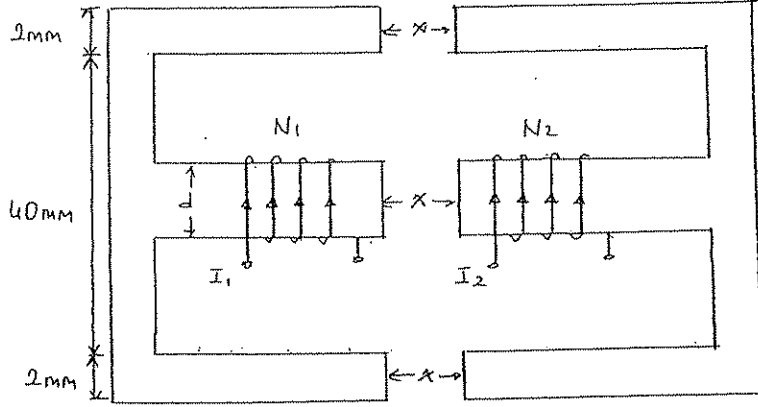
$$L_{23} = \frac{N_3 \cdot \Phi_3}{i_2} = \frac{N_2 \cdot N_3 \cdot R_2}{R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3} = 1,470 \text{ H.}$$

L_{33} 'ü hesaplayalım.

$i_1 = 0$, $i_2 = 0$ yapıp, Φ_3 hesaplanırsa,

$$L_{33} = \frac{N_3 \cdot \Phi_3}{i_3} = \frac{N_3^2 \cdot (R_2 + R_3)}{R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3} = 3,53 \text{ H.}$$

SORU:2-S2



Şekilde verilen elektromekanik düzenegin derinligi 3mm'dir. Hava araliklarında akı yoğunlukları aynıdır. Malzemenin bağıl magnetik geçirgenligi çok büyüktür. Kacak akılar ve akı sapmaları gözardı edilebilecek kadar küçüktür.

- Orta kısmın genişliği ne kadardır? ($d=?$)
- Elektromekanik ağıta karşı düşen magnetik devreyi siziniz.
- Sargıların öz ve ortak endüktanslarını x yerdegistirmesinin islevi olarak bulunuz.

i) Sargı akımları $I_1=3A$ ve $I_2=4A$, sargıların sarım sayısı ise $N_1=150$ ve $N_2=200$ 'dür. Bu durumda;

- $x=1mm$ iken sistemde depo edilen enerji ne kadardır?
 - Parçaya etki eden kuvvetin ifadesini x 'in islevi olarak bulunuz. ($F_e=f(x)$)
 - $x=2mm$ iken parçaya etki eden kuvvet ne kadardır? Kuvvet hangi yönde etki etmektedir? Yorumlayınız.
 - Parçaya etki eden kuvvetin x 'e bağılı degişim grafiğini siziniz.
 - $x_1=1,5mm$ den $x_2=0,5mm$ 'ye getirmek için ne kadar enerjiye gereksinim vardır? Bu enerjiyi sistem dışından mı almıştır yoksa dışarıya mı vermiştir.
 - $x_1=1,5mm$ den $x_2=0,5mm$ 'ye devrimde enerjinin ne kadarı birinci sargıdan, ne kadarı ikinci sargıdan gelmiştir?
- ii) Sargı akıları $\phi_1=3mWb$, $\phi_2=4mWb$ 'dir. Bu durumda;
- $x=1mm$ iken sistemde depo edilen enerji ne kadardır?

1) Parçaya etki eden kuvvetin ifadesini x 'in işlevi olarak bulunuz. ($F_e = f(x)$)

m) $x = 2 \text{ mm}$ iken parçaya etki eden kuvvet ne kadardır? Kuvvet hangi yönde etki etmektedir? Yorumlayınız.

n) Parçaya etki eden kuvvetin x 'e bağlı değişim grafiğini çiziniz.

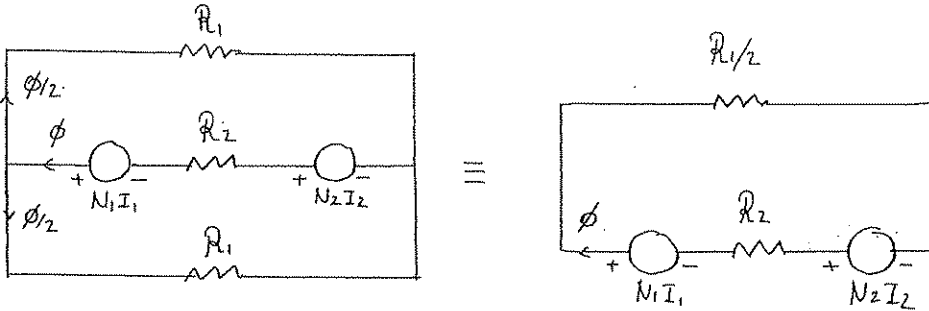
o) $x_1 = 1,5 \text{ mm}$ den $x_2 = 0,5 \text{ mm}$ ye getirmek için ne kadar enerjiye gereksinim vardır? Bu enerjiyi sistem dışarıdan mı almıştır, yoksa dışarıya mı vermiştir.

p) $x_1 = 1,5 \text{ mm}$ den $x_2 = 0,5 \text{ mm}$ ye devrimde enerjinin ne kadarı birinci sargıdan, ne kadarı ikinci sargıdan gelmiştir?

a) $B_1 = B_2 = B_3$

$$\frac{\phi}{2} \cdot \frac{1}{2 \cdot 3 \cdot 10^{-6}} = \phi \cdot \frac{1}{3 \cdot 2 \cdot 10^{-3}} \Rightarrow d = 4 \text{ mm}$$

b)



$$c) R_1 = \frac{x}{\mu_0 \cdot A_1} = \frac{x}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 2 \cdot 3 \cdot 10^{-6}} = 132,63 \cdot 10^9 \cdot x \cdot \text{A/Wb}$$

$$R_2 = \frac{x}{\mu_0 \cdot A_2} = \frac{x}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 4 \cdot 3 \cdot 10^{-6}} = 66,314 \cdot 10^9 \cdot x \cdot \text{A/Wb}$$

$$R_{es} = \frac{R_1}{2} + R_2 = 132,629 \cdot 10^9 \cdot x \cdot \text{A/Wb}$$

$I_2 = 0$ alalım.

L_{11} 'i hesaplayalım.

$$\phi_1 = \frac{N_1 I_1}{R_{es}} \quad L_{11} = \frac{N_1 \phi_1}{I_1} = \frac{N_1^2}{R_{es}}$$

L_{12} 'i hesaplayalım.

$$\phi_2 = \frac{N_1 \cdot I_1}{R_{es}} \quad L_{12} = \frac{N_2 \cdot \phi_2}{I_1} = \frac{N_1 \cdot N_2}{R_{es}} = L_{21}$$

$I_1 = 0$ alalım.

L_{22} 'i hesaplayalım.

$$\phi_2 = \frac{N_2 \cdot I_2}{R_{es}} \quad L_{22} = \frac{N_2 \cdot \phi_2}{I_2} = \frac{N_2^2}{R_{es}}$$

d) $x = 1 \text{ mm}$ için,

$$R_{es} = 132,629 \cdot 10^6 \text{ A/Wb}$$

$$W = \frac{1}{2} L_{11} \cdot I_1^2 + \frac{1}{2} L_{22} \cdot I_2^2 + L_{12} \cdot I_1 \cdot I_2$$

$$= \frac{1}{2} \frac{250^2}{132,629 \cdot 10^6} \cdot 9 + \frac{1}{2} \frac{200^2}{132,629 \cdot 10^6} \cdot 16 + \frac{250 \cdot 200}{132,629 \cdot 10^6} \cdot 12$$

$$= 9,057 \text{ J.}$$

$$e) F_e = \frac{1}{2} I_1^2 \frac{d}{dx} L_{11} + \frac{1}{2} I_2^2 \frac{d}{dx} L_{22} + I_1 \cdot I_2 \frac{d}{dx} L_{12}$$

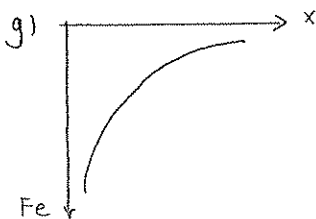
$$L_{11} = \frac{250^2}{132,629 \cdot 10^6 \cdot x} \quad L_{22} = \frac{200^2}{132,629 \cdot 10^6 \cdot x} \quad L_{12} = \frac{200 \cdot 250}{132,629 \cdot 10^6 \cdot x}$$

$$\frac{d}{dx} L_{11} = - \frac{250^2}{132,629 \cdot 10^6 \cdot x^2} \quad \frac{d}{dx} L_{22} = - \frac{200^2}{132,629 \cdot 10^6 \cdot x^2} \quad \frac{d}{dx} L_{12} = - \frac{200 \cdot 250}{132,629 \cdot 10^6 \cdot x^2}$$

$$F_e = - \frac{9}{2} \frac{250^2}{132,629 \cdot 10^6 \cdot x^2} - \frac{16}{2} \frac{200^2}{132,629 \cdot 10^6 \cdot x^2} - 12 \frac{200 \cdot 250}{132,629 \cdot 10^6 \cdot x^2}$$

$$F_e = - \frac{8,8795 \cdot 10^{-6}}{x^2} \text{ N}$$

$$f) F_e = - \frac{8,8795 \cdot 10^{-6}}{4 \cdot 10^{-6}} = -2,212 \text{ N} \quad \text{Bu kuvvet hava aralığını azaltacak yönde etkir.}$$



$$h) \Delta W = W_2 - W_1$$

$$dW = F \cdot dx \Rightarrow W = \int F \cdot dx$$

$$\Delta W = \int_{x_1}^{x_2} - \frac{8,8795 \cdot 10^{-6}}{x^2} \cdot dx = - 8,8795 \cdot 10^{-6} \left(-\frac{1}{x} \right) \Bigg|_{1,5 \cdot 10^{-3}}^{0,5 \cdot 10^{-3}}$$

$$\Delta W = 8,8795 \cdot 10^{-6} \cdot \left(\frac{1}{0,5 \cdot 10^{-3}} - \frac{1}{1,5 \cdot 10^{-3}} \right) = 11,84 \cdot 10^{-3} \text{ J}$$

$$j) F_1 = N_1 \cdot i_1 = 750 \quad \frac{F_1}{F_2} = \frac{750}{800} = \frac{15}{16}$$

$$F_2 = N_2 \cdot i_2 = 800$$

$$1. \text{ sargıdan : } 11,84 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{15}{31} = 5,73 \cdot 10^{-3} \text{ J}$$

$$2. \text{ sargıdan : } 11,84 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{16}{31} = 6,11 \cdot 10^{-3} \text{ J}$$

$$k) x = 1 \text{ mm iken}$$

$$W = \frac{1}{2} R_{es} \cdot \Phi_{top}^2$$

$$R_{es} = 132,629 \cdot 10^6 \text{ A/WL}$$

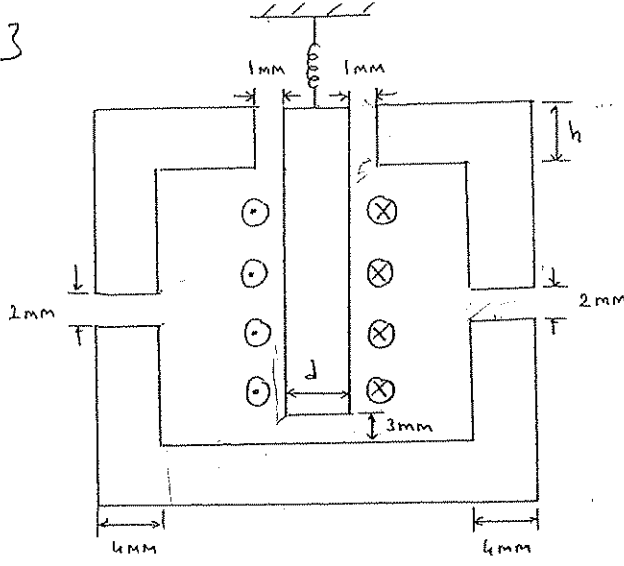
$$\Phi_{top} = \Phi_1 + \Phi_2 = 3 + 4 = 7 \text{ mWb}$$

$$\left. \begin{array}{l} W = \frac{1}{2} \cdot 132,629 \cdot 10^6 \cdot (7 \cdot 10^{-3})^2 \\ W = 3,25 \cdot 10^3 \text{ J} \end{array} \right\}$$

$$W = 3,25 \cdot 10^3 \text{ J}$$

$$d) F_e = - \frac{Q^2}{2} \frac{dR}{dx} = - \frac{49 \cdot 10^{-6}}{2} \cdot 132,629 \cdot 10^9 = - 324,9 \times 10^3 \text{ N}$$

SORU: 13-83



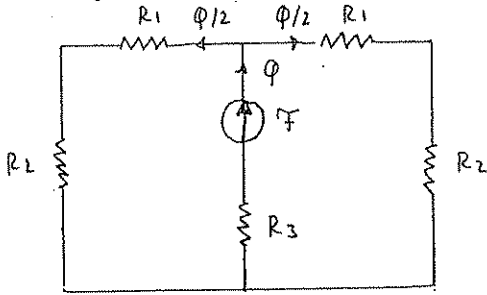
Şekilde verilen magnetik sistemin derinliği 5 mm dir. Hava aralıklarında akı yoğunluğu 1.3 T dir. Malzemenin bağıl magnetik geçirgenliği sonsuz büyüktür. Akı sapmaları ve kaçak akılar göz ardı edilebilecek kadar küçüktür. Sargının sarım sayısı 1200 dür.

a) Şekilde verilmeyen boyutları bulunuz. ($h=?$, $d=?$)

b) Sargının endüktansını bulunuz. ($L=?$)

c) Magnetik sistemde depo edilen enerjiyi bulunuz. ($W=?$)

d) Sargıdan geçen akımı bulunuz. ($I=?$)



$$a) \quad B = \frac{\phi}{d \cdot 5} = \frac{\phi/2}{4 \cdot 5} \Rightarrow d = 8 \text{ mm}$$

$$B = \frac{\phi/2}{4 \cdot 5} = \frac{\phi/2}{h \cdot 5} \Rightarrow h = 4 \text{ mm}$$

$$b) R_1 = \frac{l h_1}{\mu_0 \cdot A_1} = \frac{10^{-3}}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 4 \cdot 5 \cdot 10^{-6}} = 39,789 \cdot 10^6 \text{ A/WL.}$$

$$R_2 = \frac{l h_2}{\mu_0 \cdot A_2} = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 4 \cdot 5 \cdot 10^{-6}} = 79,577 \cdot 10^6 \text{ A/WL.}$$

$$R_3 = \frac{l h_3}{\mu_0 \cdot A_3} = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 8 \cdot 5 \cdot 10^{-6}} = 59,683 \cdot 10^6 \text{ A/WL.}$$

$$R_{es} = \frac{R_1 + R_2}{2} + R_3 = 119,366 \cdot 10^6 \text{ A/WL.}$$

$$L = \frac{N^2}{R_{es}} = \frac{1200^2}{119,366 \cdot 10^6} = 12,06 \text{ mH.}$$

$$c) W = \frac{1}{2} R_{es} \cdot \Phi^2$$

$$\Phi = B \cdot A = 1,3 \cdot 8 \cdot 5 \cdot 10^{-6} = 52 \cdot 10^{-6} \text{ Wb.}$$

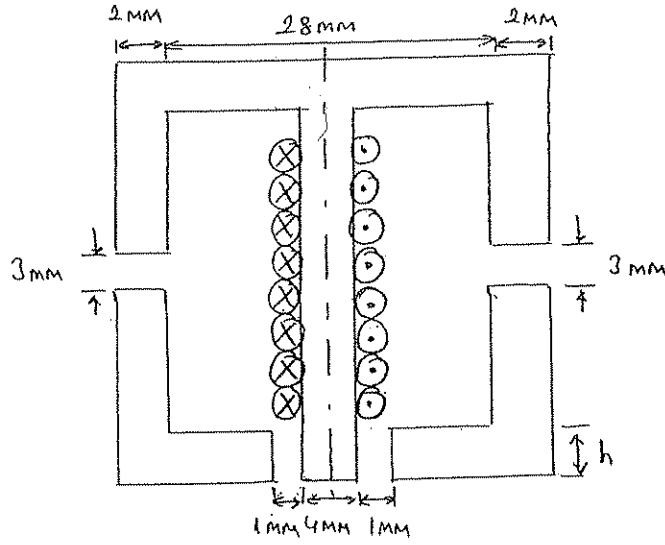
$$W = \frac{1}{2} \cdot 119,366 \cdot 10^6 \cdot (52 \cdot 10^{-6})^2 = 0,161 \text{ J}$$

$$d) W = \frac{1}{2} L \cdot i^2$$

$$0,161 = \frac{1}{2} \cdot 12,06 \cdot 10^{-3} \cdot i^2$$

$$i = 5,173 \text{ A.}$$

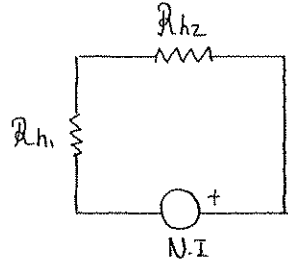
SORU: 4-513



Şekilde akselel dönel simetrik magnetik sistem verilmiştir. Hava aralıklarında akı yoğunluğu $0,8 T$ dir. Malzemenin $\mu_r = \infty$ 'dur. Akı sızması ve kaçak akı yoktur. Buna göre, ($N=450$)

- Yükseklik, ($h=?$)
- Endüktans, ($L=?$)
- Depo edilen enerji, ($W=?$)
- Sargıdan geçen akımı, ($I=?$)

hesaplayınız.



$$R = \frac{l}{\mu_0 \cdot A}$$

$$a) B = \frac{\phi}{A} \Rightarrow \phi = B \cdot A$$

$$\phi_1 = \phi_2$$

$$A_1 = 5\pi \cdot h \quad 5\pi \cdot h = 30\pi \cdot 2$$

$$A_2 = 30\pi \cdot 2 \quad h = 12 \text{ mm}$$

$$b) R_{h1} = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 60\pi \cdot 10^{-6}} = 4,222 \cdot 10^6 \text{ A/Wb}$$

$$R_{h2} = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 60\pi \cdot 10^{-6}} = 12,665 \cdot 10^6 \text{ A/Wb}$$

$$R_{es} = R_{h1} + R_{h2} = 16,887 \cdot 10^6 \text{ A/Wb}$$

$$L = \frac{N^2}{R_{es}} = \frac{450^2}{16,887 \cdot 10^6} = 11,99 \text{ mH}$$

$$c) W = \frac{1}{2} R \cdot \Phi^2$$

$$\Phi = B \cdot A = 0,8 \cdot 60\pi \cdot 10^{-6} = 0,151 \text{ mWb}$$

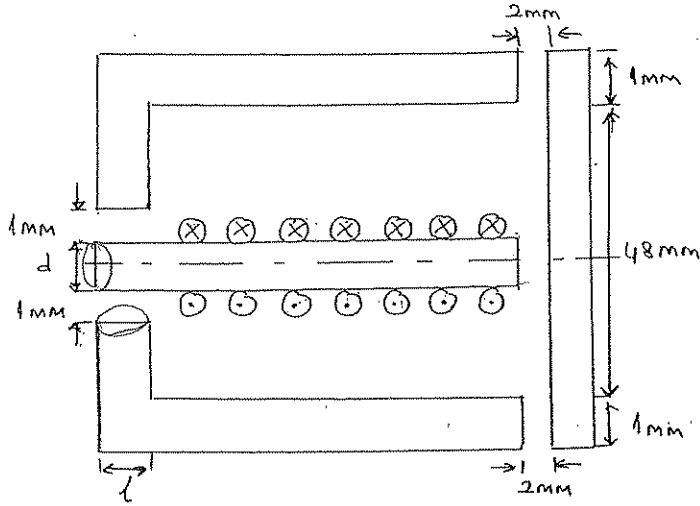
$$W = \frac{1}{2} \cdot 16,887 \cdot 10^6 \cdot (0,151 \cdot 10^{-3})^2 = 0,192 \text{ J}$$

$$d) W = \frac{1}{2} L I^2$$

$$0,192 = \frac{1}{2} \cdot 11,99 \cdot 10^{-3} \cdot I^2$$

$$I = 5,659 \text{ A}$$

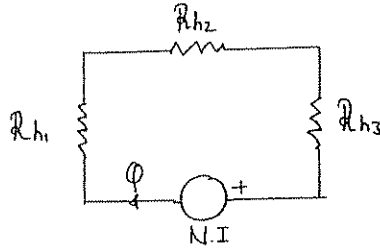
SORU: 5 §2



Şekilde aksel dönele simetrik magnetik sistem verilmiştir. Hava aralıklarında akı yoğunluğu 1,2 T dir. Malzemenin bağıl magnetik geçirgenliği sonsuz büyüktür. Akı saptmaları ve kaçak akılar gözardı edilebilecek kadar küçüktür. Sargının sarm sayısı 750'dir.

- Şekilde verilmeyen boyutları bulunuz. ($d=?$, $l=?$)
- Sargının endüktansını belirleyiniz. ($L=?$)
- Magnetik sistemde depolanan enerjiyi bulunuz ($W=?$)
- Sargıdan geçen akımı hesaplayınız. ($I=?$)

$\mu_r = \infty$ olduğu için malzemenin magnetik direnci sıfırdır.



$$R = \frac{l}{\mu_0 \cdot A}$$

$$a) \left. \begin{array}{l} B_1 = B_2 = B_3 = 1,2 \text{ T} \\ \phi_1 = \phi_2 = \phi_3 \end{array} \right\} \phi = B \cdot A$$

$$A_1 = \pi \cdot (d+1) \cdot l$$

$$A_2 = \pi \cdot 49 \cdot l$$

$$A_3 = \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2$$

$$49\pi = \frac{\pi}{4} d^2$$

$$d = 14 \text{ mm}$$

$$49\pi = \pi \cdot (14+1) \cdot l$$

$$l = 3,27 \text{ mm}$$

$$b) R_{h1} = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 49\pi \cdot 10^{-6}} = 5,169 \cdot 10^6 \text{ A/Wb}$$

$$R_{h2} = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 49\pi \cdot 10^{-6}} = 10,339 \cdot 10^6 \text{ A/Wb}$$

$$R_{h3} = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 49\pi \cdot 10^{-6}} = 10,339 \cdot 10^6 \text{ A/Wb}$$

$$R_{e\bar{s}} = R_{h1} + R_{h2} + R_{h3} = 25,847 \cdot 10^6 \text{ A/Wb}$$

$$L = \frac{N^2}{R_{e\bar{s}}} = \frac{750^2}{25,847 \cdot 10^6} = 21,762 \text{ mH}$$

$$c) W = \frac{1}{2} R \cdot \phi^2$$

$$\phi = B \cdot A = 1,2 \cdot 49\pi \cdot 10^{-6} = 0,185 \text{ mWb}$$

$$W = \frac{1}{2} R \cdot \phi^2 = \frac{1}{2} \cdot 25,847 \cdot 10^6 \cdot (0,185 \cdot 10^{-3})^2 = 0,442 \text{ J}$$

$$d) W = \frac{1}{2} L I^2$$

$$0,442 = \frac{1}{2} \cdot 21,762 \cdot 10^{-3} \cdot I^2$$

$$I = 6,373 \text{ A}$$

SORU Bir motorun eylemsizlik momenti $0,2 \text{ kgm}^2$ 'dir. Sürtünme katsayısı $0,02 \text{ Nms/rad}$ 'dır. Motor 40 Nm 'lik sabit bir yükü sürmektedir. Motor sürekli hıza erisinceye kadar yardımcı bir düzenekle sabit bir akım çekmesi sağlanmaktadır ve motor 44 Nm 'lik sabit bir moment üretmektedir. Motorun akım kayıpları sabit ve tam hızdaki sürtünme kayıplarına eşittir. Motor başlangıçta durmaktadır.

- Motorun hızını zamanın işlevi olarak bulunuz.
- Hızın zamana göre değişim grafiğini çiziniz.
- Motorun sürekli durum hızını bulunuz.
- Motorun sürekli durumdaki güç çıkışını bulunuz.
- Sürtünme ve bakır kayıplarını bulunuz.
- Demir kayıplarını sürekli durumdaki sürtünme kayıplarının yarısını alarak demir kayıplarını bulunuz.
- Motorun sürekli durumdaki güç girişini bulunuz.
- Sürekli durumdaki verimi bulunuz.
- Sürekli durumda motorda depo edilen enerjiyi bulunuz.

$$a) M_e = J \frac{d^2 \theta}{dt^2} + B \frac{d\theta}{dt} + k\theta + M_y, \theta = \omega t.$$

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

$$44 = 0,2 \frac{d\omega}{dt} + 0,02\omega + 40$$

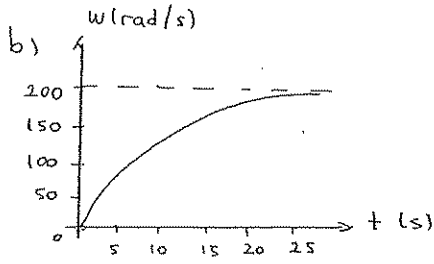
$$\frac{d\omega}{dt} + 0,1\omega = 20 \Rightarrow s \cdot \omega(s) - \omega(0) + 0,1 \cdot \omega(s) = \frac{20}{s}$$

$$\omega(s) \cdot (s + 0,1) = \frac{20}{s}$$

$$\omega(s) = \frac{20}{(s + 0,1) \cdot s}$$

$$\omega(t) = \lim_{s \rightarrow 0} \left(\frac{20 \cdot e^{st}}{s + 0,1} \right) + \lim_{s \rightarrow -0,1} \left(\frac{20 \cdot e^{st}}{s} \right) = 200 - 200 \cdot e^{-0,1t}$$

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



c) $t = \infty$ iken $\omega = 200 \text{ rad/s}$ olur.

d) $P_{\text{çıkış}} = \omega \cdot M_y$

$$P_{\text{çıkış}} = 200 \times 40 = 8000 \text{ W}$$

e) $P = \omega \cdot M_s$

↓
sürtünme
momenti (Nm)

$$M_s = B \cdot \omega = \frac{\text{Nm} \cdot \text{s}}{\text{rad}} \cdot \frac{\text{rad}}{\text{s}} = \text{N} \cdot \text{m}$$

$$P = \omega \cdot B \cdot \omega = B \omega^2 = 0,02 \times 200^2 = 800 \text{ W} \Rightarrow P_{\text{sür}} = P_{\text{cu}} = 800 \text{ W}$$

f) $P_{\text{FE}} = \frac{1}{2} \times 800 = 400 \text{ W}$

g) $P_{\text{giriş}} = P_{\text{çıkış}} + P_{\text{sür}} + P_{\text{cu}} + P_{\text{FE}}$

$$= 8000 + 800 + 800 + 400 = 10000 \text{ W}$$

h) $\text{Verim} = \frac{P_{\text{çıkış}}}{P_{\text{giriş}}} = \frac{8000}{10000} = \%80$

i) $E_k = \frac{1}{2} m \cdot \omega^2$

$$E = \frac{1}{2} J \cdot \omega^2 = \frac{1}{2} \times 0,2 \times 200^2 = 4000 \text{ J}$$

SORU 7 Bir motorun eylemsizlik momenti $0,1 \text{ kgm}^2$; sürtünme katsayısı $0,04 \text{ Nms/rad}$ 'dır. Motor 5 Nm 'lik sabit bir yükü sürmektedir. Motor $15 \text{ N} \cdot \text{m}$ 'lik sabit bir moment üretmektedir. Motor 250 rad/s 'lik hızla dönmekte iken, motorun ürettiği momentin yönü değiştirilerek frenleme yapılmaktadır.

a) Motor hızını zamanın işlevi olarak bulunuz.

b) 1 s 'de motorun rotorunda depo edilen enerji ne kadardır?

c) Motor hangi anda durur?

d) Motor hızının zamana göre değişim grafiğini siziniz.

e) Motor sürekli durumda hangi hızda, hangi yöne doğru döner?

$$a) -Me = J \cdot \frac{d\omega}{dt} + B \cdot \omega + M_y$$

$$-15 = 0,1 \cdot \frac{d\omega}{dt} + 0,04 \omega + 5$$

$$\frac{d\omega}{dt} + 0,4 \omega = -200$$

$$s \omega(s) - \omega(0) + 0,4 \omega(s) = -\frac{200}{s}$$

$$\omega(s)(s+0,4) = 250 - \frac{200}{s}$$

$$\omega(s) = \frac{250s - 200}{(s+0,4) \cdot s}$$

$$\omega(t) = \lim_{s \rightarrow 0} \left(\frac{(250s - 200) \cdot e^{st}}{(s+0,4)} \right) + \lim_{s \rightarrow -0,4} \left(\frac{(250s - 200) \cdot e^{st}}{s} \right)$$

$$= -500 + 750 \cdot e^{-0,4t} = 500 (1,5 \cdot e^{-0,4t} - 1) \text{ rad/s}$$

$$b) t = 1 \text{ s. 'de } \omega = 2,7 \text{ rad/s}$$

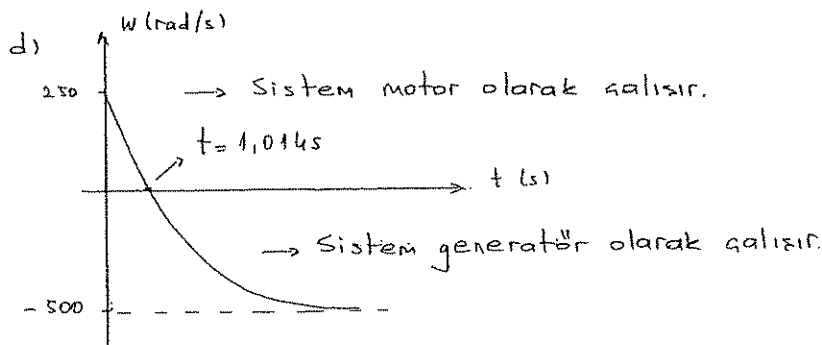
$$E = \frac{1}{2} J \omega^2 = \frac{1}{2} \times 0,1 \times (2,7)^2 = 0,3645 \text{ J}$$

c) $\omega(t) = 0$ olduğu anda motor durur.

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

$$1,5 \cdot e^{-0,4t} - 1 = 0 \Rightarrow e^{-0,4t} = \frac{2}{3} \Rightarrow -0,4t = \ln\left(\frac{2}{3}\right)$$

$$t = 1,014 \text{ s.}$$



e) $t = \infty$ 'da $\omega = -500 \text{ rad/s}$ başlangıcın tersi yönünde döner.

SORU 8 Bir motorun eylemsizlik momenti 2 kgm^2 , sürtünme katsayısı $0,5 \text{ Nms/rad}$ dir. Motor 50 Nm 'lik sabit bir moment üretmekte 25 Nm lik sabit bir yükü sürmektedir.

a) Motor hızını zamanın işlevi olarak bulunuz.

b) Motor hızının 2s , 4s ve 6s deki değerlerini hesaplayınız.

Motorun ürettiği momentin yönü 6s 'de değiştiriliyor.

c) Motor hızının zamanın işlevi olarak bulunuz.

d) Motor hızının 8s , 10s , 12s ve 14s deki değerlerini hesaplayınız.

e) Motor hangi anda durur?

f) $t=0$ anından başlayarak motor hızının zamana göre

değişim grafiğini çiziniz.

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

$$50 = 2 \cdot \frac{d\omega}{dt} + 0,5 \cdot \omega + 25$$

$$\frac{d\omega}{dt} + 0,25\omega = 12,5$$

$$s \cdot \omega(s) - \omega(0) + 0,25 \cdot \omega(s) = \frac{12,5}{s}$$

$$\omega(s) \cdot (s + 0,25) = \frac{12,5}{s} \Rightarrow \omega(s) = \frac{12,5}{(s + 0,25) \cdot s}$$

$$\omega(t) = \lim_{s \rightarrow 0} \left(\frac{12,5}{(s + 0,25)} \cdot e^{st} \right) + \lim_{s \rightarrow -0,25} \left(\frac{12,5}{s} \cdot e^{st} \right) = 50 - 50 \cdot e^{-0,25t}$$

$$\omega(t) = 50 \cdot (1 - e^{-0,25t}) \text{ rad/s}$$

$$b) t = 2\text{s} \rightarrow \omega = 50 \cdot (1 - e^{-0,5}) = 19,67 \text{ rad/s}$$

$$t = 4\text{s} \rightarrow \omega = 50 \cdot (1 - e^{-1}) = 31,61 \text{ rad/s}$$

$$t = 6\text{s} \rightarrow \omega = 50 \cdot (1 - e^{-1,5}) = 38,84 \text{ rad/s}$$

SORU: Bir motor yük dizgesinin yol alma özeyrişi aşağıda verilmiştir.

$$n(t) = 1800 \cdot (1 - e^{-t/0,6}) \text{ dev/dak.}$$

Zaman saniye boyutundadır. Motor yük eylemsizlik momenti

$J = 0,2 \text{ kgm}^2$ ve yük momenti sabit ve 8 Nm 'dir.

a) Motorun başlama momentini bulunuz.

b) 1180 dev/dk 'daki motor momentini bulunuz.

c) Hızın, sürekli durumdaki hızın %96'sına erismesi için gerekli süreyi bulunuz.

$$a) M_e = J \cdot \frac{d\omega}{dt} + B \cdot \omega + M_y$$

$$M_e = 0,2 \frac{d\omega}{dt} + B \cdot \omega + 8$$

$$\frac{M_e - 8}{0,2} = \frac{d\omega}{dt} + \frac{B}{0,2} \omega$$

$$s \cdot \omega(s) - \omega(0) + y \cdot \omega(s) = \frac{x}{s}$$

$$\omega(s) \cdot (s + y) = \frac{x}{s}$$

$$\omega(s) = \frac{x}{s \cdot (s + y)}$$

$$\omega(t) = \lim_{s \rightarrow 0} \left(\frac{x}{s + y} \cdot e^{st} \right) + \lim_{s \rightarrow -y} \left(\frac{x}{s} \cdot e^{st} \right)$$

$$\omega(t) = \frac{x}{y} - \frac{x}{y} \cdot e^{-yt} = \frac{x}{y} (1 - e^{-yt})$$

$$\omega(t) = \frac{x}{y} (1 - e^{-yt}) = 1800 \cdot (1 - e^{-t/0,6})$$

$$-yt = -\frac{t}{0,6} \Rightarrow y = \frac{5}{3} \quad \frac{x}{y} = 1800 \Rightarrow x = 3000$$

$$\frac{B}{0,2} = \frac{5}{3} \Rightarrow B = \frac{1}{3} \text{ Nms/rad} \quad \frac{M_e - 8}{0,2} = 3000 \Rightarrow M_e = 608 \text{ N.M}$$

$$b) 1180 = 1800 \cdot (1 - e^{-t/0,6})$$

$$1 - e^{-t/0,6} = \frac{1180}{1800} \Rightarrow e^{-t/0,6} = 1 - \frac{1180}{1800}$$

$$-\frac{t}{0,6} = \ln \left(1 - \frac{1180}{1800} \right) \Rightarrow t = 0,639 \text{ s.}$$

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

$$M_e = 0,2 \cdot \frac{d}{dt} (1800 - 1800 \cdot e^{-t/0,6}) + \frac{1}{3} \cdot 1180 + 8$$

$$M_e = 0,2 \cdot \frac{1800}{0,6} \cdot e^{-t/0,6} + \frac{1}{3} \cdot 1180 + 8 \quad t = 0,639 \text{ s} = 608,17 \text{ Nm}$$

$$c) 1800 \cdot \frac{96}{100} = 1800 \cdot (1 - e^{-t/0,6}) \Rightarrow t = 1,931 \text{ s}$$

$$c) -Me = J \frac{d\omega}{dt} + B\omega + M\gamma$$

$$-50 = 2 \cdot \frac{d\omega}{dt} + 0,5 \cdot \omega + 25$$

$$\frac{d\omega}{dt} + 0,25\omega = -37,5$$

$$s \cdot \omega(s) - \omega(0) + 0,25 \cdot \omega(s) = -\frac{37,5}{s}$$

$$\omega(s) \cdot (s + 0,25) = 38,84 - \frac{37,5}{s}$$

$$\omega(s) = \frac{38,84s - 37,5}{(s + 0,25) \cdot s}$$

$$\omega(t) = \lim_{s \rightarrow 0} \left(\frac{(38,84s - 37,5) \cdot e^{st}}{s + 0,25} \right) + \lim_{s \rightarrow -0,25} \left(\frac{(38,84s - 37,5) \cdot e^{st}}{s} \right)$$

$$\omega(t) = -150 + 188,84 \cdot e^{-0,25t}$$

$$d) t = 8s \rightarrow \omega = -150 + 188,84 \cdot e^{-2} = -124,44 \text{ rad/s}$$

$$t = 10s \rightarrow \omega = -150 + 188,84 \cdot e^{-2,5} = -134,50 \text{ rad/s}$$

$$t = 12s \rightarrow \omega = -150 + 188,84 \cdot e^{-3} = -140,60 \text{ rad/s}$$

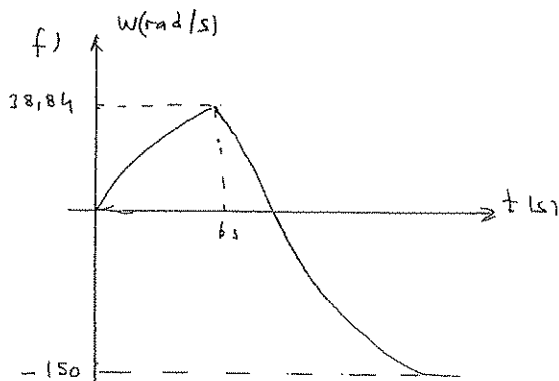
$$t = 14s \rightarrow \omega = -150 + 188,84 \cdot e^{-3,5} = -144,30 \text{ rad/s}$$

e) $\omega(t) = 0$ anında motor durur.

$$\omega(t) = -150 + 188,84 \cdot e^{-0,25t} = 0$$

$$e^{-0,25t} = \frac{150}{188,84} = 0,794$$

$$-0,25t = \ln(0,794) \Rightarrow t = 0,921 \text{ s.}$$



SORU: Bir stator, diğeri rotor üzerine yerleştirilmiş iki sargının öz ve ortak endüktansları aşağıda verilmiştir.

$$L_{11} = 0,30 \text{ mH} , L_{22} = 0,20 \text{ mH} , L_{12} = 0,10 \cdot \cos \theta \text{ mH}$$

Burada θ sargı eksenleri arasındaki açıdır. İki sargı $i = \sqrt{2} I \sin \omega t$ Amper akım kaynağına seri olarak bağlanmıştır.

a) Rotora etki eden M döndürme momentini θ açısının işlevi olarak bulunuz.

b) Döndürme momentinin zamana göre ortalama değerini θ açısının işlevi olarak belirleyiniz.

c) $I = 10 \text{ A}$ ve $\theta = 90^\circ$ için momentin ortalama değerini bulunuz.

d) $I = 5 \text{ A}$, $I = 7 \text{ A}$ ve $I = 10 \text{ A}$ için ortalama momentin θ 'ya bağlı grafiklerini çiziniz.

$$a) M = \frac{I_1^2}{2} \frac{dL_{11}}{d\theta} + \frac{I_2^2}{2} \frac{dL_{22}}{d\theta} + I_1 \cdot I_2 \cdot \frac{dL_{12}}{d\theta}$$

$$\frac{dL_{11}}{d\theta} = 0 , \frac{dL_{22}}{d\theta} = 0 , \frac{dL_{12}}{d\theta} = -0,10 \cdot \sin \theta$$

$$I_1 = I_2 = \sqrt{2} \cdot I \cdot \sin \omega t$$

$$M = I_1 \cdot I_2 \cdot \frac{dL_{12}}{d\theta} = -0,2 I^2 \sin^2 \omega t \cdot \sin \theta$$

$$b) M = -0,2 I^2 \sin^2 \omega t \cdot \sin \theta = -0,2 I^2 \left(\frac{1 - \cos 2\omega t}{2} \right) \cdot \sin \theta$$

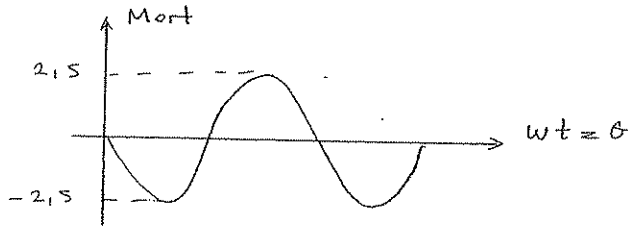
$$= -0,2 I^2 \left(\frac{1}{2} \sin \theta - \frac{1}{2} \cos 2\omega t \cdot \sin \theta \right)$$

$$M_{ort} = -0,1 \cdot I^2 \cdot \sin \theta \text{ [N.m]}$$

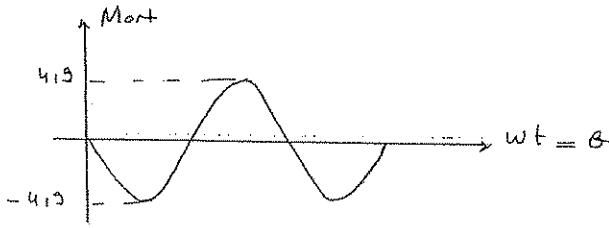
Ortalama moment elde etmek için moment ifadesi t 'den bağımsiz olmalıdır.

$$c) M_{ort} = -0,1 \cdot 10^2 \cdot \sin 90^\circ = -10 \text{ Nm.}$$

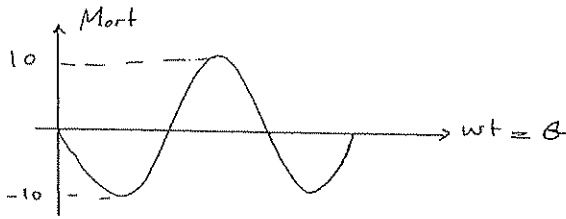
$$d_1 \quad I = 5 \text{ A} \quad \text{icin} \quad M_{ort} = -2,5 \cdot \sin \theta \quad \text{N.m}$$



$$I = 7 \text{ A} \quad \text{icin} \quad M_{ort} = -4,5 \cdot \sin \theta \quad \text{N.m}$$



$$I = 10 \text{ A} \quad \text{icin} \quad M_{ort} = -10 \cdot \sin \theta \quad \text{N.m}$$



SORU: Bir magnetik devrede $\Phi_1(t) = 35 \cdot \cos(100t)$ mWb akısı ge-
mekte iken, magnetik malzemede 25 W histeresiz ve 45 W jirdap
akımı kayıplar oluşmaktadır. Aynı devreden $\Phi_2(t) = 20 \cdot \cos(150t)$
mWb 'lik akı geemesi durumunda demir kayıplar 44 W 'dir. Mal-
zemenin Steinmetz dejişmezini bulunuz:

$$P_h = K_h \cdot f \cdot (B_m)^n$$

$$P_g = K_g \cdot f^2 \cdot (B_m)^2$$

$$B_1(t) = \frac{\Phi_1(t)}{A} = \frac{35}{A} \cdot \cos(100t)$$

$$B_2(t) = \frac{\Phi_2(t)}{A} = \frac{20}{A} \cdot \cos(150t)$$

$$f_1 = \frac{\omega_1}{2\pi} = \frac{100}{2\pi}$$

$$f_2 = \frac{\omega_2}{2\pi} = \frac{150}{2\pi}$$

$$\frac{P_{g1}}{P_{g2}} = \frac{K_g \cdot f_1^2 \cdot B_{M1}^2}{K_g \cdot f_2^2 \cdot B_{M2}^2} \Rightarrow \frac{45}{P_{g2}} = \frac{100^2 \cdot 35^2}{150^2 \cdot 20^2}$$

$$P_{g2} = 33,012 \text{ W}$$

$$P_{FE2} = P_{h2} + P_{g2}$$

$$44 = P_{h2} + 33,012 \Rightarrow P_{h2} = 10,939 \text{ W}$$

$$\frac{P_{h1}}{P_{h2}} = \frac{K_h \cdot f_1 \cdot B_{M1}^n}{K_h \cdot f_2 \cdot B_{M2}^n} \Rightarrow \frac{25}{10,939} = \frac{100 \cdot 35^n}{150 \cdot 20^n}$$

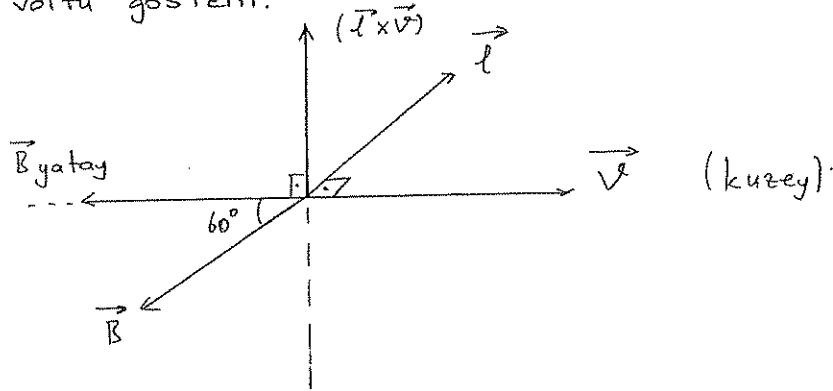
$$1,75^n = 3,428$$

$$n \cdot \ln 1,75 = \ln 3,428$$

$$n = 2,201$$

n değeri 1,6 < n < 2,4 arası olur.

SORU: Kanat uçları arasındaki uzaklık 20m olan bir uçak, kuzeye doğru 800 km/saat hızla uçuşmaktadır. Uçağın bulunduğu bölgede yerin magnetik alanının bileşeni $25 \mu\text{T}$ dir, alan yatay ile 60° lik açı yapmaktadır. Uçağın kanatlarına bağlanacak voltmetre kaç voltu gösterir.



$$\vec{e} = \vec{B} \cdot (\vec{l} \times \vec{V})$$

$(\vec{l} \times \vec{V})$ ile \vec{B} vektörleri arasındaki açı $= 150^\circ$ 'dir.

$$\vec{P} = \vec{l} \times \vec{V} = |\vec{l}| \cdot |\vec{V}| \cdot \sin 90^\circ = 20 \cdot 800 \cdot \frac{1000}{3600} \cdot \sin 90^\circ = 4444 \text{ V.m}$$

$$\vec{e} = \vec{B} \cdot \vec{P}$$

$$e = B \cdot P \cdot \cos 150^\circ = \frac{0,25 \cdot 10^{-4}}{\cos 60^\circ} \cdot 4444 \cdot \cos 150^\circ = -\frac{1}{3\sqrt{3}} \text{ V}$$

$$|e| = \frac{\sqrt{3}}{9} \text{ V.}$$

SORU:

SORU: Aşağıda akışım-akım bağıntısı verilen elektromekanik dönüştürücüler, sistem kuramı açısından sınıflandırınız.

a) $\lambda = i \cdot \sin^2 t$

b) $\lambda = 7i + 3$

c) $\lambda = 1 + \sin i$

d) $\lambda = (1 + x^2) i$

Bir sistemin doğrusal olup olmadığını anlamak için sistemin endüktansına bakılır.

a) $L = \frac{\lambda}{i} = \sin^2 t$: Doğrusal zamanla değişen

b) $L = \frac{\lambda}{i} = 7 + \frac{3}{i}$: Doğrusal olmayan zamanla değişmeyen

c) $L = \frac{\lambda}{i} = \frac{1 + \sin i}{i}$: Doğrusal olmayan zamanla değişmeyen

d) $L = \frac{\lambda}{i} = 1 + x^2$: Doğrusal zamanla değişmeyen

SORU: Aşağıdaki kavramları açıklayınız.

a) Steintmenz değişmezi

b) Curie sıcaklığı

c) Paramagnetik

d) Dönü momenti.

SORU: Ferromanyetik bir çekirdek üzerine sarılı bulunan sargıya 220V, 50 Hz'lik bir gerilim uygulandığında histeresiz kayıplar $P_h = 40 \text{ W}$, girdap akım kayıpları $P_g = 20 \text{ W}$ olmaktadır. Akı yoğunluğu bu durumda $B_1 = 0,95 \text{ Tesla}$ 'dır. Aynı sargıya $v(t) = 300 \sin 314t + 15 \sin 942t$ gerilimi uygulandığında demir kayıpları ne olur? Uyarım sargısının direnci yok varsayabileceğimiz kadar küçüktür. Malzemenin steintmenz sabiti 1,6 olarak verilmiştir.

$$e = E_m \cdot \sin \omega t$$

$$e_1 = 220\sqrt{2} \cdot \sin 314t$$

$$e_2 = 300 \sin 314t + 15 \cdot \sin 942t$$

$$e = -N \cdot \frac{d\phi}{dt} \Rightarrow \phi = -\frac{1}{N} \int e(t) \cdot dt$$

$$B = \frac{\phi}{A} \Rightarrow A = \frac{\phi_m}{B_m}$$

$$\phi_1 = \frac{220\sqrt{2}}{N \cdot 314} \cdot \cos \omega t \Rightarrow A = \frac{220\sqrt{2}}{N \cdot 298,3} \text{ m}^2$$

$$\phi_2 = \frac{1}{N} \left[\frac{300}{314} \cdot \cos 314t + \frac{15}{942} \cdot \cos 942t \right]$$

$$\frac{P_{h1}}{P_{h2}} = \frac{K_h \cdot f_1 \cdot (B_{m1})^n}{K_h \cdot f_2' \cdot (B_{m2}')^n + K_h \cdot f_2'' \cdot (B_{m2}'')^n}$$

$$\frac{40}{P_{h2}} = \frac{50 \cdot 0,95^{1,6}}{\frac{314}{2\pi} \left(\frac{300}{N \cdot 314 \cdot A} \right)^{1,6} + \frac{942}{2\pi} \cdot \left(\frac{15}{N \cdot 942 \cdot A} \right)^{1,6}}$$

$$\frac{40}{P_{h2}} = \frac{50 \cdot 0,95^{1,6}}{50 \cdot \left(\frac{300 \cdot 298,3}{314 \cdot 220\sqrt{2}} \right)^{1,6} + 150 \cdot \left(\frac{15 \cdot 298,3}{942 \cdot 220\sqrt{2}} \right)^{1,6}}$$

$$P_{h2} = 37,9 \text{ W}$$

$$\frac{P_{g1}}{P_{g2}} = \frac{K_g \cdot f_1^2 \cdot B_{M1}^2}{K_g \cdot f_2^2 \cdot B_{M2}^2 + K_g \cdot f_2^2 \cdot B_{M2}^2}$$

$$\frac{20}{P_{g2}} = \frac{50^2 \cdot 0,95^2}{50^2 \cdot \left(\frac{300 \cdot 298,3}{314 \cdot 120\sqrt{2}} \right)^2 + 150^2 \cdot \left(\frac{15 \cdot 298,3}{342 \cdot 120\sqrt{2}} \right)^2}$$

$$P_{g2} = 18,64$$

$$P_{Fe2} = P_{h2} + P_{g2} = 37,9 + 18,64 = 56,54 \text{ W}$$

SORU: İki sargının öz ve ortak endüktansları aşağıda verilmiştir.

$$L_{11} = L_{22} = \frac{2}{1+2x} \text{ [H]}, \quad L_{12} = 1+2x \text{ [H]}$$

Sargı dirençleri yok varsayılabiliriz kadar küçüktür.

a) $I_1 = 5A$ ve $I_2 = -2A$ 'de sabit tutulurken x 'in 0 'dan 0,5 m'e kadar attırılmasında yapılan mekanik iş ne olur? Olusan mekanik kuvvetin yönü ne olur?

b) a şıkında belirtilen hareket boyunca i_1 ve i_2 akımların geldiği kaynakların herbirinde sekilen elektrik enerjisini ayrı ayrı hesaplayınız.

$$a) F_e = \frac{I_1^2}{2} \frac{dL_{11}}{dx} + \frac{I_2^2}{2} \frac{dL_{22}}{dx} + I_1 \cdot I_2 \frac{dL_{12}}{dx}$$

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

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

$$W = \frac{25}{2} \cdot \frac{2}{1+2x} + \frac{4}{2} \cdot \frac{2}{1+2x} - 10 \cdot (1+2x) \Big|_0^{0,5}$$

$$W = \left[\frac{25}{1+1} + \frac{4}{1+1} - 10 \cdot (1+1) \right] - \left[25 + 4 - 10 \right] = -5,5 - 19 = -24,5 \text{ J}$$

Hava aralığını azaltacak yöndedir.

$$\begin{aligned}
 b) W_1 &= \frac{1}{2} L_{11} \cdot I_1^2 + \frac{1}{2} L_{12} \cdot I_1 \cdot I_2 \\
 &= \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{1+2x} \cdot 25 + \frac{1}{2} \cdot (1+2x) \cdot 5 \cdot (-2) \\
 &= \frac{25}{1+2x} - 5 \cdot (1+2x)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta W_1 &= W_{12}(0,5) - W_{11}(0) \\
 &= \left(\frac{25}{2} - 10 \right) - (25 - 5) = -17,5 \text{ Joule}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_2 &= \frac{1}{2} L_{22} \cdot I_2^2 + \frac{1}{2} L_{12} \cdot I_1 \cdot I_2 \\
 &= \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{1+2x} \cdot 4 + \frac{1}{2} (1+2x) \cdot 5 \cdot (-2) \\
 &= \frac{4}{1+2x} - 5 \cdot (1+2x)
 \end{aligned}$$

$$\Delta W = \Delta W_1 + \Delta W_2$$

$$= -17,5 - 7 = -24,5 \text{ J}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta W_2 &= W_{22}(0,5) - W_{21}(0) \\
 &= \left(\frac{4}{2} - 10 \right) - (4 - 5) = -7 \text{ Joule}
 \end{aligned}$$

SORU: Bir çelik malzemesi örneğinin, histeresiz çevriminin alanı $9,8 \text{ cm}^2$ dir. Çizim yapılırken $1000 \text{ A/m} = 1 \text{ cm}$, $0,2 \text{ T} = 1 \text{ cm}$ alınmıştır. Deney yapılırken frekans 50 Hz ve akı yoğunluğunun tepe değeri $1,5 \text{ T}$ 'dir. Malzemenin Steinmetz değişmezi $1,8$ 'dir.

a) Malzemenin 1 m^3 de oluşan enerji kaybını bulunuz.

b) Malzemenin 1 m^3 de oluşan güç kaybını bulunuz.

c) Aynı malzeme örneği üzerinde deney $1,2 \text{ T}$ ve 30 Hz 'de yapılsaydı güç kaybı ne kadar olurdu?

$$a) B \cdot H = T \cdot \frac{A}{m} = \frac{Wb}{m^2} \cdot \frac{A}{m} = \frac{VA}{m^3} = \frac{J}{m^3}$$

$$W = B \cdot H \cdot V = 0,2 \cdot 1000 \cdot 9,8 \cdot 1 = 1960 \text{ J}$$

$$b) P = B \cdot H \cdot V \cdot f = 0,2 \cdot 1000 \cdot 9,8 \cdot 1 \cdot 50 = 98000 \text{ W}$$

$$c) \frac{P_{h1}}{P_{h2}} = \frac{K_h \cdot f_1 \cdot B_1^{\alpha}}{K_h \cdot f_2 \cdot B_2^{\alpha}} \Rightarrow \frac{98000}{P_{h2}} = \frac{50 \cdot 1,5^{1,8}}{30 \cdot 1,2^{1,8}} \Rightarrow P_{h2} = 39,349 \text{ kW}$$

SORU: İki sargılı bir magnetik sistemin sargılarından biri sabit konumda, diğeri ise hareketlidir. İki sargı arasındaki uzaklığı x ile gösterelim ve x 'in metre boyutunda olduğunu varsayalım. Sargıların endüktans, ortak endüktans ve dirençleri aşağıda verilmiştir.

$$L_1 = 0,5 \text{ H}, L_2 = (4-x) \text{ H}, L_{12} = 0,1 \cdot (4-x)^2$$

$$R_1 = 0,50 \Omega, R_2 = 1,00 \Omega$$

i) $I_1 = 5 \text{ A}$ ve $I_2 = 10 \text{ A}$ iken aşağıdaki durumlar için birinci ve ikinci sargıların uçlarındaki gerilimleri zamanın işlevi olarak bulunuz. $t = 0,5 \text{ s}$ deki gerilim kaç volt olur?

a) $x(t) = 2 \cdot \cos 2t \text{ [m]}$

b) $x(t) = 4 \cdot \sin 10t \text{ [m]}$

ii) Sargıların uçlarındaki gerilimleri aşağıdaki durumlarda zamanın işlevi olarak bulunuz. $t = 0,5 \text{ s}$ de bu gerilimler kaç volt olur?

c) $x = 0$ $i_1 = 5 \cos 2t \text{ [A]}$ $i_2 = 10 \cos (2t + 90) \text{ [A]}$

d) $x = 0$ $i_1 = 5 \cos 2t \text{ [A]}$ $i_2 = 10 \cos 4t \text{ [A]}$

e) $x(t) = 2 \cdot \cos (2t + 180) \text{ [m]}$ $i_1 = 5 \cdot \cos 2t \text{ [A]}$, $i_2 = 10 \sin 2t \text{ [A]}$

a) $x(t) = 2 \cdot \cos 2t \text{ [m]}$ için,

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1 & 0 \\ 0 & R_2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} L_{11} & L_{12} \\ L_{21} & L_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix}$$

$$* v_1 = R_1 \cdot I_1 + \frac{d}{dt} L_{11} \cdot I_1 + \frac{d}{dt} L_{12} \cdot I_2$$

$$* v_2 = R_2 \cdot I_2 + \frac{d}{dt} L_{21} \cdot I_1 + \frac{d}{dt} L_{22} \cdot I_2$$

$$v_1 = 0,5 \times 5 + \frac{d}{dt} (0,5 \times 5) + \frac{d}{dt} (0,1 \times (4-x)^2 \times 10)$$

$$v_1 = 2,5 + \frac{d}{dt} (0,1 \times (4 - 2 \cdot \cos 2t)^2 \times 10)$$

$$v_1 = 2,5 + \frac{d}{dt} (16 - 16 \cdot \cos 2t + 4 \cdot \cos^2 2t)$$

$$v_1 = 2,5 + 32 \cdot \sin 2t - 16 \cdot \sin 2t \cdot \cos 2t$$

$$\Rightarrow t = 0,5 \text{ s 'de } v_1 = 2,5 + 32 \cdot \sin 1 - 16 \cdot \sin 1 \cdot \cos 1 = 22,153 \text{ V}$$

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

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

$$V_2 = 10 + \frac{d}{dt} (8 - 8 \cos 2t + 2 \cos^2 2t) + \frac{d}{dt} (40 - 20 \cos 2t)$$

$$V_2 = 10 + 16 \sin 2t - 8 \sin 2t \cos 2t + 40 \sin 2t$$

$$V_2 = 10 + 56 \sin 2t - 8 \sin 2t \cos 2t$$

$$\Rightarrow t = 0,5 \text{ 'de } V_2 = 10 + 56 \sin 1 - 8 \sin 1 \cos 1 = 53,485 \text{ V}$$

b) $x(t) = 4 \sin 10t \text{ [m]}$

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

$$V_1 = 2,5 + \frac{d}{dt} (16 - 32 \sin 10t + 16 \sin^2 10t)$$

$$V_1 = 2,5 - 320 \cos 10t + 320 \sin 10t \cos 10t$$

$$\Rightarrow t = 0,5 \text{ s. 'de } V_1 = 2,5 - 320 \cos 5 + 320 \sin 5 \cos 5 = -175,31 \text{ V}$$

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

$$V_2 = 10 + \frac{d}{dt} (8 - 16 \sin 10t + 8 \sin^2 10t) + \frac{d}{dt} (40 - 40 \sin 10t)$$

$$V_2 = 10 - 160 \cos 10t + 160 \sin 10t \cos 10t - 400 \cos 10t$$

$$\Rightarrow t = 0,5 \text{ s. 'de } V_2 = 10 - 560 \cos 5 + 160 \sin 5 \cos 5 = -192,37 \text{ V,}$$

c) $x=0$, $i_1 = 5 \cos 2t$, $i_2 = 10 \cos (2t + 90) = -10 \sin 2t$

$$V_1 = 0,5 \cdot 5 \cos 2t + \frac{d}{dt} (0,5 \times 5 \times \cos 2t) + \frac{d}{dt} (-1,6 \times 10 \sin 2t)$$

$$V_1 = 2,5 \cos 2t - 5 \sin 2t - 32 \cos 2t$$

$$\Rightarrow t = 0,5 \text{ s. 'de } V_1 = 2,5 \cos 1 - 5 \sin 1 - 32 \cos 1 = -20,146 \text{ V}$$

$$V_2 = -1 \times 10 \sin 2t + \frac{d}{dt} (1,6 \times 5 \cos 2t) + \frac{d}{dt} (-4 \times 10 \sin 2t)$$

$$V_2 = -10 \sin 2t - 16 \sin 2t - 80 \cos 2t$$

$$\Rightarrow t = 0,5 \text{ s. 'de } V_2 = -10 \sin 1 - 16 \sin 1 - 80 \cos 1 = -89,136 \text{ V}$$

$$d) x=0, \quad i_1 = 5 \cdot \cos 2t, \quad i_2 = 10 \cdot \cos 4t$$

$$V_1 = 0,5 \times 5 \cdot \cos 2t + \frac{d}{dt} (0,5 \times 5 \cdot \cos 2t) + \frac{d}{dt} (16 \times 10 \cdot \cos 4t)$$

$$V_1 = 2,5 \cdot \cos 2t - 5 \cdot \sin 2t - 640 \cdot \sin 4t$$

$$\Rightarrow t=0,5 \text{ s. 'de } V_1 = 2,5 \cdot \cos 1 - 5 \cdot \sin 1 - 640 \cdot \sin 2 = -584,81 \text{ V}$$

$$V_2 = 1 \times 10 \cdot \cos 4t + \frac{d}{dt} (1,6 \times 5 \cdot \cos 2t) + \frac{d}{dt} (4 \times 10 \cdot \cos 4t)$$

$$V_2 = 10 \cdot \cos 4t - 16 \cdot \sin 2t - 160 \cdot \sin 4t$$

$$\Rightarrow t=0,5 \text{ s. 'de } V_2 = 10 \cdot \cos 2 - 16 \cdot \sin 1 - 160 \cdot \sin 2 = -163,11 \text{ V}$$

$$e) x(t) = 2 \cdot \cos (2t + 180) = -2 \cdot \cos 2t.$$

$$i_1 = 5 \cdot \cos 2t, \quad i_2 = 10 \cdot \sin 2t.$$

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

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

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

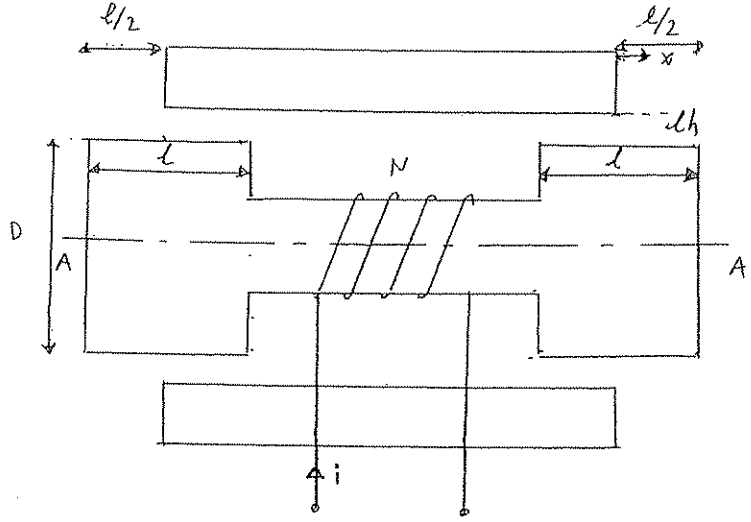
$$V_1 = 2,5 \cdot \cos 2t - 5 \cdot \sin 2t + 32 \cos 2t - 32 \cdot \sin^2 2t + 32 \cos^2 2t$$

$$-16 \cdot \cos 2t \cdot \sin 2t \cdot \sin 2t + 8 \cdot \cos^2 2t \cdot \cos 2t$$

$$\Rightarrow t=0,5 \text{ s. 'de } V_1 = 74,379 \text{ V}$$

V_2 'nin çözümüde aynıdır.

SORU:



Şekilde verilen elektromekanik düzen AA' eksenine göre silindirik simetrik yapıdadır. Demir parçaların bağıl magnetik geçirgenliği çok büyüktür. Üzerinde N sarım bulunan makara zemine sabitleştirilmiştir. Distaki boru serbestçe hareket edebilmektedir. Bu iki parça arasındaki hava aralığı çevre boyunca sabittir. Kaçak akı ve akı sızması yoktur.

a) Sargıdan i akımı geçtiğinde hava aralığında oluşacak akı yoğunluğunun ifadesini x 'e bağlı olarak bulunuz.

b) Sargının endüktansını x yerdeğistirmesinin işlevi olarak ifade ediniz.

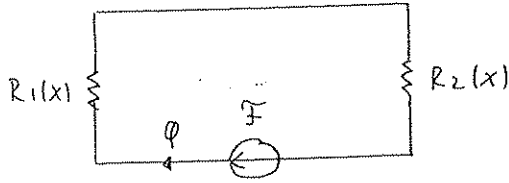
c) x yerdeğistirmesi için kuvvet ifadesini elde ediniz.

d) $D=20$ mm, $l=10$ mm, $2h=1$ mm, $N=500$ sarım, $i=2$ A olarak veriliyor. Distaki boruyu şekilde verilen konumdan ayırmak için ne kadar kuvvet uygulamak gerekir?

e) x yerdeğistirmesinin $-l/2 \leq x \leq l/2$ aralığında değışmesi durumunda kuvvetin değışim eğrisini çiziniz.

$$a) B = \frac{\Phi}{A} \quad \Phi = \frac{\mathcal{F}}{\mathcal{R}} = \frac{N \cdot i}{\mathcal{R}}$$

$$B = \frac{N \cdot i}{\mathcal{R} \cdot A} \text{ olarak bulunur.}$$



$$A_1 = \pi \cdot D' \cdot \left(\frac{l}{2} - x\right)$$

$$A_2 = \pi \cdot D' \cdot \left(\frac{l}{2} + x\right)$$

$$D' = D + 2h$$

$$R_1(x) = \frac{lh_1}{\mu_0 \cdot A_1} = \frac{lh_1}{4\pi \times 10^{-7} \times \pi \cdot D' \cdot \left(\frac{l}{2} - x\right)}$$

$$lh_1 = lh_2 = lh$$

$$R_2(x) = \frac{lh_2}{\mu_0 \cdot A_2} = \frac{lh_2}{4\pi \times 10^{-7} \times \pi \cdot D' \cdot \left(\frac{l}{2} + x\right)}$$

$$R_{es}(x) = R_1(x) + R_2(x) = \frac{lh}{4\pi \times 10^{-7} \times \pi \cdot D'} \cdot \left(\frac{1}{\left(\frac{l}{2} - x\right)} + \frac{1}{\left(\frac{l}{2} + x\right)} \right)$$

$$R_{es}(x) = \frac{lh}{4\pi \times 10^{-7} \times \pi \cdot D'} \cdot \frac{l}{\left(\frac{l^2}{4} - x^2\right)}$$

$$B(x) = \frac{N \cdot i}{\frac{lh}{4\pi \times 10^{-7} \times \pi \cdot D'} \cdot \frac{l}{\left(\frac{l^2}{4} - x^2\right)} \cdot \pi \cdot D' \cdot \left(\frac{l}{2} \mp x\right)}$$

$$B_1(x) = \frac{N \cdot i}{\frac{lh}{4\pi \times 10^{-7}} \cdot \frac{l}{\left(\frac{l}{2} + x\right)}}$$

$$B_2(x) = \frac{N \cdot i}{\frac{lh}{4\pi \times 10^{-7}} \cdot \frac{l}{\left(\frac{l}{2} - x\right)}}$$

A₁ alanının akı yoğunluğu

A₂ alanının akı yoğunluğu

$$b) \quad \Phi = \frac{F}{R} = \frac{N \cdot i}{R}$$

$$L = \frac{N \cdot \Phi}{i} = \frac{N^2}{R}$$

$$L = \frac{N^2}{\frac{lh}{4\pi \times 10^{-7} \times \pi \cdot D'} \cdot \frac{l}{\left(\frac{l^2}{4} - x^2\right)}} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times \pi \cdot D' \times N^2 \times \left(\frac{l^2}{4} - x^2\right)}{lh \times l}$$

$$c) \quad F_c = \frac{j^2}{2} \cdot \frac{dL(x)}{dx} = -j^2 \times \frac{4\pi \times 10^{-7} \times \pi \cdot D' \times N^2 \times x}{lh \times l} \cdot N$$

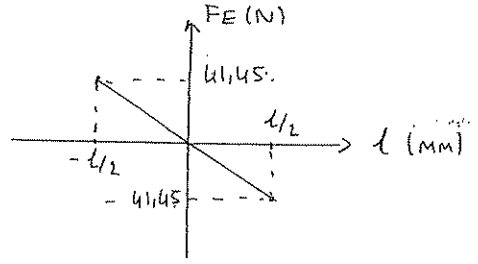
$$d) \quad F_e = -4 \times \frac{4\pi \times 10^{-7} \times \pi \cdot (20 \times 10^{-3} + 1 \times 10^{-3}) \times 500^2 \times x}{1 \times 10^{-3} \times 10 \times 10^{-3}} = -8290,46 \times N$$

$$x=0 \text{ için } F_e = 0 \text{ N.}$$

$$e) -\frac{1}{2} \leq x \leq \frac{1}{2}$$

$$-5 \cdot 10^{-3} \leq x \leq 5 \cdot 10^{-3}$$

$$F_e = 41,45 \text{ N} \quad F_e = -41,45 \text{ N}$$



SORU: Bir magnetik çekirdekteki akı 30 Hz frekanslı sinüs biçimli olarak değişmektedir. Max. akı yoğunluğu 0,8 T'dir. Bu durumda girdap akımı kayıpları 20 W'dır. Frekans 50 Hz ve maksimum akı yoğunluğu 1,2 T olduğunda girdap akımı kayıpları ne olur?

$$f_1 = 30 \text{ Hz}$$

$$f_2 = 50 \text{ Hz}$$

$$B_{m1} = 0,8 \text{ T}$$

$$B_{m2} = 1,2 \text{ T}$$

$$P_{g1} = 20 \text{ W}$$

$$P_{g2} = ?$$

$$P_g = K_g \cdot f^2 \cdot B_m^2$$

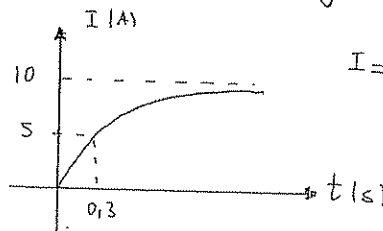
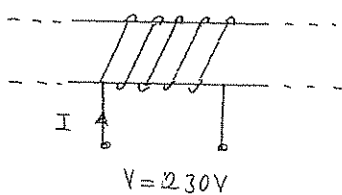
$$\frac{P_{g1}}{P_{g2}} = \frac{30^2 \cdot 0,8^2}{50^2 \cdot 1,2^2} = \frac{20}{P_{g2}} \Rightarrow P_{g2} = 125 \text{ W}$$

SORU: Elektromekanik dönüştürücünün uyartım sargısı 230 V'luk doğru akım kaynağına bağlandığında sürekli durumda 10 A akım çekmektedir. Uyartım sargısı doğru akım kaynağına bağlandığında 0,3 s. de akımın 5 A'ye eriştiği gözlenmiştir.

a) Elektromekanik dönüştürücünün uyartım sargısının endüktansını bulunuz.

b) Aygıt sürekli durumda çalışmakta iken uyartım sargısının uçları aniden kısa devre edilirse, kısa devre akımının, sürekli çalışma akımının %30'na inmesi için geçmesi gereken süreyi bulunuz.

Uyartım sargısının endüktansını sabit varsayınız.



$$I = 10 \cdot (1 - e^{-\alpha t})$$

$$t = \infty \text{ için } I = 10 \cdot (1 - e^{-\alpha t}) = 10$$

$$t = 0,3 \text{ için } I = 10 \cdot (1 - e^{-0,3\alpha}) = 5$$

$$1 - e^{-0,3\alpha} = 0,5$$

$$e^{-0,3\alpha} = 0,5 \Rightarrow \alpha = \frac{\ln(0,5)}{-0,3} = 2,3$$

$$a) I = 10 \cdot (1 - e^{-2,3t})$$

$$e = L \cdot \frac{dI}{dt} \Rightarrow 230 = L \cdot \frac{d}{dt} (10 \cdot (1 - e^{-2,3t}))$$

$$230 = L \cdot 23 \cdot e^{-2,3t}$$

$$t = 0 \text{ için } L = \frac{230}{23} = 10 \text{ H.}$$

$$b) I = 10 \cdot (1 - e^{-2,3t}) = \frac{10 \cdot 30}{100} = 3$$

$$1 - e^{-2,3t} = 0,3$$

$$e^{-2,3t} = 0,7 \Rightarrow t = \frac{\ln(0,7)}{-2,3} = 0,155 \text{ s.}$$

SORU: Disk şeklinde yapılmış bir serbest döngü tekerleğinin kütlesi 250 kg ve yarıçapı 0,4 m'dir.

a) Tekerleğin eylemsizlik momentini bulunuz, birimi ile yazınız.

b) Tekerlek 375 devir/dakika ile dönmekte iken, tekerleğin dönme kinetik enerjisini bulunuz.

c) Durmakta olan tekerleği, 1 dakikada 375 devir/dakika hıza getirmek için gerekli ortalama güçü bulunuz.

d) 0,25 s. de tekerleğin hızını 375 devir/dakika'dan 365 devir/dakika'ya geldiğinde verdiği ortalama güçü bulunuz.

e) Tekerleğin hızını 365 devir/dakika'dan tekrar 375 devir/dakika'ya 0,15 s. de getirmek için varılması gereken ortalama güçü bulunuz.

$$a) J = \frac{1}{2} m r^2 = \frac{1}{2} \times 250 \times 0,4^2 = 20 \text{ kg.m}^2$$

$$b) \omega = 375 \frac{\text{dev}}{\text{dk}} \cdot \frac{1 \text{ dk}}{60 \text{ s}} \cdot \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ dev}} = 39,27 \text{ rad/s}$$

$$W = \frac{1}{2} J \cdot \omega^2 = \frac{1}{2} \times 20 \times 39,27^2 = 15421 \text{ J}$$

$$c) P = \frac{W}{t} = \frac{15421}{60} = 257,02 \text{ W}$$

$$d) \Delta W = W_2 - W_1$$

$$\Delta W = \frac{1}{2} \times 20 \times 38,22^2 - \frac{1}{2} \times 20 \times 39,27^2 = -813,645 \text{ J}$$

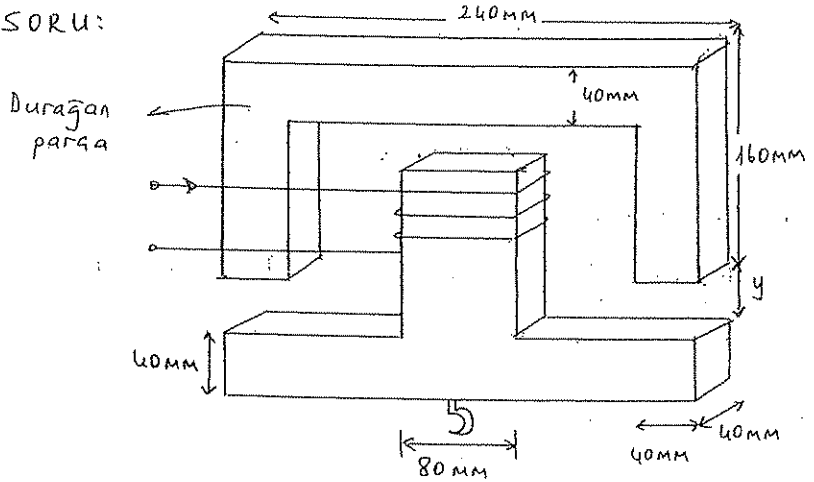
$$\Delta P = \frac{\Delta W}{t} = - \frac{813,645}{0,25} = -3254,58 \text{ W}$$

$$e) \Delta W = W_2 - W_1$$

$$\Delta W = \frac{1}{2} \times 20 \times 39,27^2 - \frac{1}{2} \times 20 \times 38,22^2 = 813,645 \text{ J}$$

$$\Delta P = \frac{\Delta W}{t} = \frac{813,645}{0,15} = 5424,3 \text{ W}$$

SORU:



Şekilde gösterilen elektromagnetik dönüştürücü M kütlesini y mesafesini kaldırmakta kullanılmaktadır. Sargının sarm sayısı, 500 dür. ve 2A 'lik akım sargıdan aşırı ısınmaya neden olmadan akabilmektedir. Magnetik malzeme 1,5T 'lik akı yoğunluğu taşıyabilmektedir. Hava aralığındaki akı saptmaları göz ardı edilecektir.

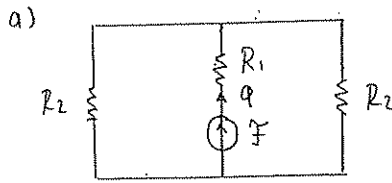
a) Sargıdan 2A akmakta iken hava aralığında 1,5T 'lık akı yoğunluğu oluşması için y hava aralığı boyu ne olmalıdır?

b) Bir önceki sızta bulunan hava aralığı için devingen ögeye etkileyen kuvvet nedir?

c) Magnetik malzemenin yoğunluğu 7800 kg/m^3 'dür. a sıztkında bulunan hava aralığı boyu için, yerçekimi kuvvetine karşı kaldırılabilcek m küttlesinin yaklaşık değerini bulunuz.

d) Devingen parçayı a sıztkında hesaplanan hava aralığı uzunluğunda boşlukta tutmak için sargıdan geçmesi gereken akımı bul.

e) Sargıdan 0,3 A lik akım akmakta iken ve hava aralığı boyu a sıztkında hesaplanan uzunlukta iken, devingen öge, aniden serbest bırakılırsa, devingen parçanın ilk ivmesi ne olur?



$$R_1 = \frac{y}{\mu_0 \cdot A_1}$$

$$R_2 = \frac{y}{\mu_0 \cdot A_2}$$

$$A_1 = 3,2 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_2 = 1,6 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$R_{es} = R_1 + \frac{R_2}{2} = \frac{y}{\mu_0 \cdot A_1} + \frac{y}{2\mu_0 \cdot A_2} = \frac{2 \cdot y}{\mu_0 \cdot A_1} = 497,36 \cdot 10^6 \text{ y} \cdot \text{A/WL}$$

$$\Phi = \frac{I}{R_{es}} = \frac{N \cdot i}{R_{es}}$$

$$\Phi = B \cdot A_1 \Rightarrow \frac{N \cdot i \cdot \mu_0 \cdot A_1}{2y} = B \cdot A_1$$

$$y = \frac{N \cdot i \cdot \mu_0}{2B}$$

$$y = \frac{500 \times 2 \times 4\pi \times 10^{-7}}{2 \times 1,5} = 4,189 \times 10^{-4} \text{ m} = 0,4189 \text{ mm}$$

b) $F_e = -\frac{\Phi^2}{2} \cdot \frac{d(R \cdot y)}{dy}$

$$\Phi = B \cdot A_1 = 1,5 \times 3,2 \times 10^{-3} = 4,8 \times 10^{-3} \text{ Wb}$$

$$F_e = -\frac{(4,8 \times 10^{-3})^2}{2} \times 497,36 \times 10^6 = -5729,59 \text{ N}$$

$$c) V_{\text{hacim}} = (40 \times 40 \times 240 \times 10^{-9}) + (120 \times 80 \times 40 \times 10^{-9})$$

$$= 7,68 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$M = d \cdot V = 7800 \times 7,68 \times 10^{-4} \approx 6 \text{ kg.}$$

$$F_e = m \cdot g$$

$$5729,59 = m \cdot 9,8$$

$$m = 584,65 \text{ kg}$$

$$M_x = m - M = 578,65 \text{ kg.}$$

$$d) F_e = m \cdot g = 6 \times 9,8 = 58,8 \text{ N}$$

$$F_e = -\frac{\Phi^2}{2} \cdot \frac{dR(y)}{dy}$$

$$-58,8 = -\frac{\Phi^2}{2} \times 497,36 \times 10^6$$

$$\Phi = 4,862 \times 10^{-4} \text{ Wb.}$$

$$\Phi = \frac{N \cdot i}{R_{es}} \Rightarrow i = \frac{\Phi \cdot R_{es}}{N} = \frac{4,862 \times 10^{-4} \times 497,36 \times 10^6 \times 4,189 \times 10^{-4}}{500}$$

$$i = 0,203 \text{ A.}$$

$$e) \Phi = \frac{N \cdot i}{R_{es}} = \frac{500 \times 0,3}{497,36 \times 10^6 \times 4,189 \times 10^{-4}} = 7,2 \times 10^{-4} \text{ Wb}$$

$$F_e = -\frac{\Phi^2}{2} \cdot \frac{dR(y)}{dy} = -\frac{(7,2 \times 10^{-4})^2}{2} \times 497,36 \times 10^6 = -128,916 \text{ N}$$

$$a = \frac{F_e}{M} + g = \frac{128,916}{6} + 9,8 = 11,686 \text{ m/s}^2$$

veya

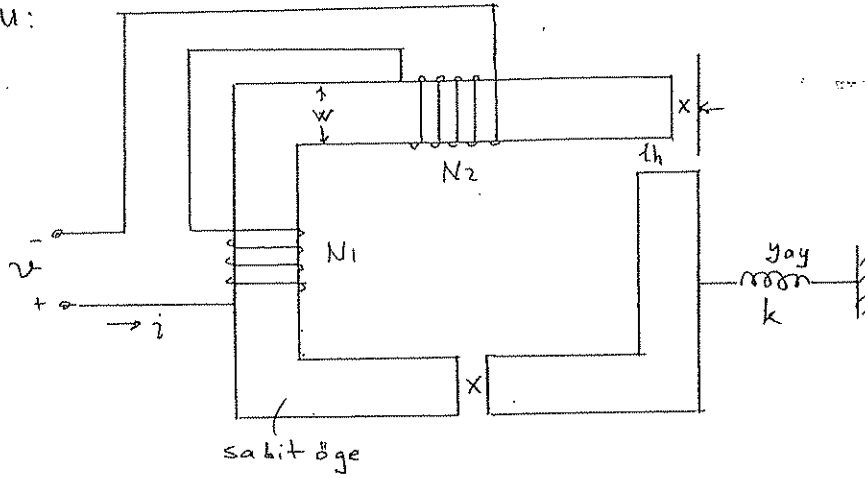
d) $F_e = 58,8 \text{ N}$ 'luk kuvvetin oluşması için magnetik devreden geçmesi gereken akı yoğunluğu $F = \frac{B^2}{2\mu_0} \cdot A$ 'dan $B = \sqrt{\frac{2F/\mu_0}{A}}$, $A = A_1 + 2A_2$ olmak üzere hesaplanır.

$$B = 0,152 \text{ T olur.}$$

$$\Phi = B \cdot A_1 = 0,152 \times 80 \times 40 \times 10^{-6} = 489,4 \times 10^{-6} \text{ Wb.}$$

$$i = \frac{\Phi \cdot R_{es}}{N} = 0,203 \text{ A. bulunur.}$$

SORU:

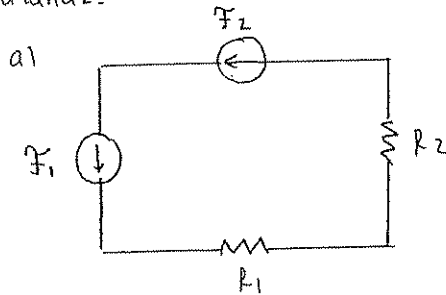


Şekilde gösterilen çift uyartımlı elektromekanik sistem yalnızca yatay olarak hareket etmektedir. Yapının enine kesiti $w \times w$ 'dir. Direnci, kaçak akı ve akı sapmasını gözardı ediniz. Malzemenin baki magnetik geçirgenliği çok büyüktür.

a) Elektromekanik sistemin, magnetik direncini bulunuz.

b) Sistemde depo edilen enerjiyi hesaplayınız.

c) Hareketli ögeye etkileyen kuvveti konumun işlevi olarak bulunuz.



$$R_1 = \frac{x}{\mu_0 \cdot w^2}$$

$$R_2 = \frac{lh}{\mu_0 \cdot w \cdot (w-x)}$$

$$R_{es} = R_1 + R_2$$

$$b) F_1 + F_2 = \phi \cdot (R_1 + R_2)$$

$$\phi = \frac{(N_1 + N_2) i}{\frac{x}{\mu_0 w^2} + \frac{lh}{\mu_0 w (w-x)}}$$

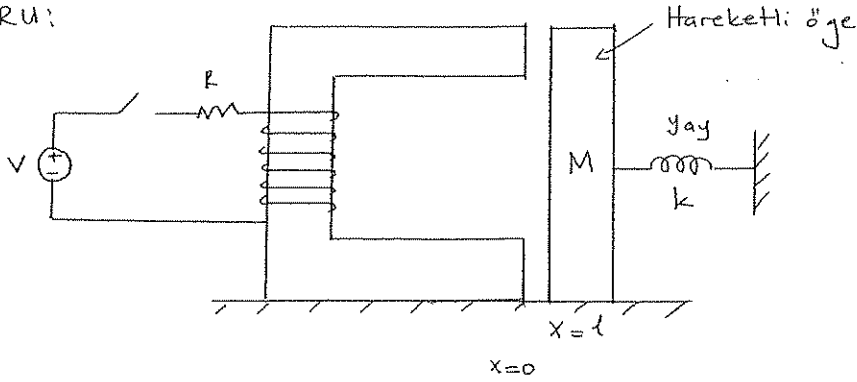
$$W = \frac{1}{2} R_{es} \cdot \phi^2$$

$$W = \frac{1}{2} \cdot \frac{(N_1 + N_2)^2 \cdot i^2}{\frac{x}{\mu_0 w^2} + \frac{lh}{\mu_0 w (w-x)}}$$

$$c) F_e = -\frac{\phi^2}{2} \cdot \frac{dR}{dx}$$

$$F_e = -\frac{1}{2} \left(\frac{(N_1 + N_2)^2 \cdot i^2}{\frac{x}{\mu_0 w} + \frac{lh}{\mu_0 w (w-x)}} \right) \cdot \left(\frac{1}{\mu_0 w^2} + \frac{1}{\mu_0 w (w-x)} \right) N$$

SORU:



Şekildeki elektromekanik dönüştürücü ağıdaki parametrelere sahiptir. $A_{hava} = 0,001 \text{ m}^2$, $N = 500$ sarın, $l = 0,02 \text{ m}$, $\mu = \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$ (demirin magnetik direncini göz ardı ediniz) $k = 1000 \text{ N/m}$, $R = 18 \Omega$ dur. Elektrik anahtarı kapatıldığında, hareketli ögenin sabit ögeye dönüşmesi için, doğru gerilim kaynağının gerilimi en az kaç volt olmalıdır?

$$F_e = M \cdot \frac{d^2 x}{dt^2} + B \cdot \frac{dx}{dt} + kx + F_g = \frac{B^2}{2\mu_0} \cdot A$$

$$k \cdot x = \frac{B^2}{2\mu_0} \cdot A$$

$$1000 \cdot 0,02 = \frac{B^2}{2 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7}} \cdot 2 \cdot 0,001 \Rightarrow B = 0,1585 \text{ T}$$

$$B = \frac{\Phi}{A} \Rightarrow \Phi = B \cdot A = 0,1585 \cdot 0,001 = 0,1585 \cdot 10^{-3} \text{ Wb}$$

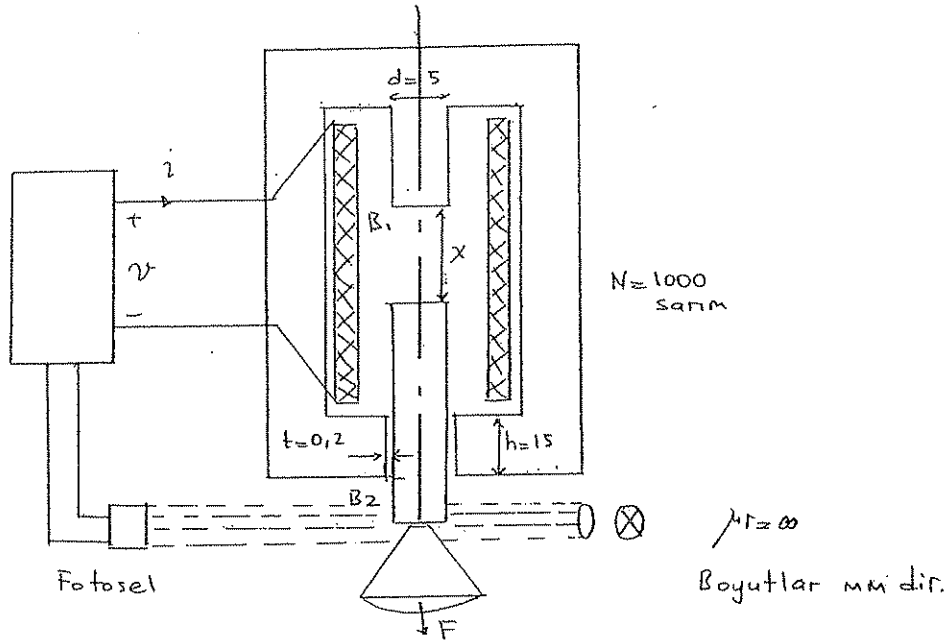
$$\Phi = \frac{N i}{R_{es}}, \quad R_{es} = 2 \cdot R_h$$

$$R_h = \frac{0,02}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 0,001} = 15,915 \cdot 10^6 \text{ A/Wb}$$

$$i = \frac{\Phi \cdot R_{es}}{N} = \frac{0,1585 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 15,915 \cdot 10^6}{500} = 10,09 \text{ A}$$

$$V = iR + L \cdot \frac{di}{dt} \Rightarrow V = i \cdot R = 10,09 \cdot 18 = 181,62 \text{ V}$$

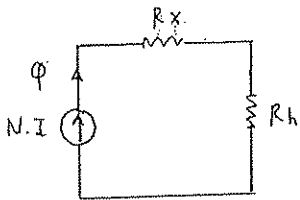
SORU:



Şekildeki magnetik sistem silindrsel yapıdadır. Devingen ögenin aksenal hava aralığı, bir denetim düzeneği ile $x=15$ mm olacak biçimde sabit tutulmaktadır.

a) Devingen ögeye etki eden kuvvetin ifadesini akıma bağlı olarak elde ediniz.

b) $i=3$ A için kuvvetin değerini hesaplayınız.



$$R_x = \frac{x}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot \pi \cdot (2,5 \cdot 10^{-3})^2} = 4,053 \cdot 10^4 \cdot x \text{ A/Wb}$$

$$R_h = \frac{0,2 \cdot 10^{-3}}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 2\pi \cdot 2,6 \cdot 15 \cdot 10^{-6}} = 0,649 \cdot 10^6 \text{ A/Wb}$$

$$R_{eq} = 4,053 \cdot 10^4 x + 0,649 \cdot 10^6 \text{ A/Wb}$$

$$L = \frac{N^2}{R_{eq}} = \frac{10^6}{4,053 \cdot 10^4 x + 0,649 \cdot 10^6} = \frac{1}{4,053 \cdot 10^4 x + 0,649}$$

$$F_e = \frac{i^2}{2} \frac{dL}{dx} = -\frac{i^2}{2} \frac{4,053 \cdot 10^4}{(4,053 \cdot 10^4 x + 0,649)^2} = -0,055 \cdot i^2 \text{ N}$$

$$i=3 \text{ A için } F_e = -0,492 \text{ N}$$

SORU: İki sargının öz ve ortak endüktansları aşağıda verilmiştir.

$$L_{11} = L_{22} = \frac{5}{5+x} \quad [H]$$

$$L_{12} = (1+5x) \quad [H]$$

Sargı dirençleri yokvarsayılabilecek kadar küçüktür.

a) I_1 akımı -10 A ve I_2 akımı 4 A'de sabit tutularak x 'in 0 'dan $0,2$ m'ye kadar artmasında yapılan mekanik iş ne olur? Oluşan elektromekanik kuvvetin yönü nedir?

b) a) sıklığında belirtilen devrim boyunca I_1 ve I_2 akımlarının geldiği kaynakların her birinden çekilen elektrik enerjisini

aynı aynı bulunuz.

$$a) F_e = \frac{I_1^2}{2} \frac{dL_{11}}{dx} + \frac{I_2^2}{2} \frac{dL_{22}}{dx} + I_1 \cdot I_2 \cdot \frac{dL_{12}}{dx}$$

$$W = \int_{x_1}^{x_2} F_e \cdot dx$$

$$W = \int_{x_1}^{x_2} \left(\frac{I_1^2}{2} \frac{dL_{11}}{dx} + \frac{I_2^2}{2} \frac{dL_{22}}{dx} + I_1 \cdot I_2 \cdot \frac{dL_{12}}{dx} \right) \cdot dx$$

$$W = \frac{I_1^2}{2} L_{11} + \frac{I_2^2}{2} L_{22} + I_1 \cdot I_2 \cdot L_{12} \Big|_{x_1}^{x_2} \Rightarrow \Delta W = W(x_2) - W(x_1)$$

$$\Delta W = \left[50 \cdot \frac{5}{5,2} + 8 \cdot \frac{5}{5,2} - 40 \cdot 2 \right] - \left[50 + 8 - 40 \right] = -42,23 \text{ J}$$

$$b) W_1 = \frac{1}{2} I_1^2 \cdot L_{11} + \frac{1}{2} I_1 \cdot I_2 \cdot L_{12}$$

$$= 50 \cdot \frac{5}{5+x} - 20 \cdot (1+5x)$$

$$= \frac{250}{5+x} - 20 \cdot (1+5x)$$

$$\Delta W_1 = W_{12}(0,2) - W_{11}(0)$$

$$= \left(\frac{250}{5,2} - 20 \cdot 2 \right) - \left(\frac{250}{5} - 20 \right)$$

$$= -21,32 \text{ J}$$

$$W_2 = \frac{1}{2} I_2^2 \cdot L_{22} + \frac{1}{2} I_1 \cdot I_2 \cdot L_{12}$$

$$= 8 \cdot \frac{5}{5+x} + 20 \cdot (1+5x)$$

$$= \frac{40}{5+x} + 20 \cdot (1+5x)$$

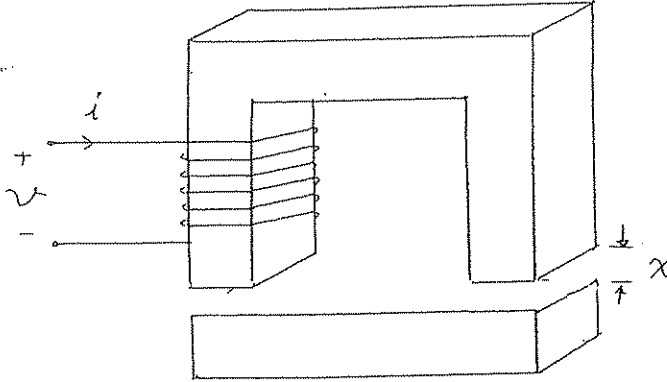
$$\Delta W_2 = W_{22}(0,2) - W_{12}(0)$$

$$= \left(\frac{40}{5,2} + 20 \cdot 2 \right) - \left(\frac{40}{5} + 20 \right)$$

$$= -17,31 \text{ J}$$

$$\Delta W = \Delta W_1 + \Delta W_2 \approx -42,23 \text{ J}$$

SORU:

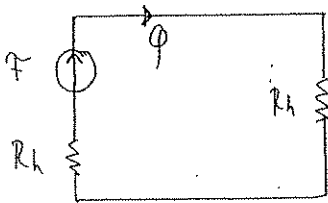


Şekilde gösterilen magnetik sistemin karesel ara kesiti $30\text{mm} \times 30\text{mm}$ dir. Çekirdeğin iki kısmı bir araya getirildiğinde hava aralıklarının her birinin boyu $x = 1\text{mm}$ olmaktadır. Sargı 250 sarımlı ve direnci $7,5\ \Omega$ dur. Çekirdek malzemesi için gerekli olan magnetik alan siddeti gözardı edilebilir. $\mu_r = \infty$

a) Sargıya 40V 'luk doğru akım uygulandığında, iki çekirdeği bir araya getiren toplam kuvvet ne kadardır? (Hava aralığındaki akı saptmaları gözardı edilebilir.)

b) Sargıya 220V , 50Hz 'lik gerilim uygulandığında, aygıtın iki parçasını bir araya getiren ortalama kuvvet ne kadardır? (Hava aralığındaki akı saptmaları gözardı edilebilir.)

c) Akı saptmalarının etkileri hava aralığının enine kesiti $(30+x) \times (30+x)$ olarak ve akı yoğunluğunu x hava aralığı boyunca düzgün olduğunu varsayarak, hesaba katılabilir. Akı saptmalarının için bu düzenlemeyi yaparak (a) ve (b) sıklarını yineleyiniz.



$$R_h = \frac{l_h}{\mu \cdot A} = \frac{x}{4\pi \times 10^{-7} \times 30 \times 30 \times 10^{-6}}$$

$$= 884,194 \cdot 10^6 \cdot x \cdot \text{A/Wb}$$

$$R_{es} = 2 \cdot R_h = 1768,388 \cdot 10^6 \cdot x \cdot \text{A/Wb}$$

$$a) I = \frac{V}{R} = \frac{40}{7,5} = 5,33 \text{ A}$$

$$L = \frac{N^2}{Res} = \frac{250^2}{1768,388 \cdot 10^6 \cdot x} \text{ H}$$

$$F_e = \frac{i^2}{2} \cdot \frac{dL(x)}{dx} = \frac{5,33^2}{2} \cdot \frac{-250^2 \cdot 1768,388 \cdot 10^6}{(1768,388 \cdot 10^6 \cdot x)^2}$$

$x = 1 \text{ mm}$ olduğunda;

$$F_e = -502,027 \text{ N}$$

$$b) e(t) = 220\sqrt{2} \cdot \sin 100\pi t \text{ V}$$

$$e = -N \cdot \frac{d\phi}{dt} \Rightarrow \phi(t) = -\frac{1}{N} \int e(t) \cdot dt$$

$$\phi(t) = \frac{220\sqrt{2}}{250 \cdot 100\pi} \cdot \cos 100\pi t \text{ Wb}$$

$$F_e = -\frac{\phi^2}{2} \cdot \frac{dR}{dx} = -\left(\frac{220\sqrt{2}}{500 \cdot 100\pi}\right)^2 \cdot 1768,388 \cdot 10^6 \cdot \cos^2 100\pi t$$

$$F_e = -6937,662 \cdot \cos^2 100\pi t \text{ N}$$

$$F_{e_{ort}} = -6937,662 \cdot \left(\frac{1}{2} (1 + \cos 200\pi t)\right)$$

ort=0

$$F_{e_{ort}} = -3468,83 \text{ N}$$

Not: Şarjıdan geçen I akımını hesaplayalım.

**

$$x = 1 \text{ mm için } L = 35,34 \text{ mH}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (WL)^2}$$

$$Z = \sqrt{7,5^2 + (100\pi \cdot 35,34 \cdot 10^{-3})^2}$$

$$Z = 13,398 \Omega$$

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{220}{13,398} = 16,42 \text{ A}$$

$$c) R_h = \frac{X}{\mu_0 \cdot (30+x) \cdot (30+x)} \text{ olarak aynı işlemler tekrarlanır.}$$

SORU: Bir rölenin, demir kısmının enine kesiti 1cm^2 , akı yolu uzunluğu 10cm 'dir. Demirin bağıl magnetik geçirgenliği 4500 dür. Röle açık iken hava aralığı 2mm , röle kapalı iken, yüzeydeki pürüzler nedeniyle, hava aralığı $0,1\text{mm}$ 'dir. Röle sargısı 12V , 50Hz 'lik kaynaktan beslenmektedir ve sarın sayısı 5000 'dir. Sargı direnci gözardı edilebilir.

i) Devingen öge maksimum hava aralığı konumunda iken;

a) Magnetik devrede dolayan akıyı bulunuz.

b) Sistemde depolanan enerji ne kadardır?

c) Demir kısmın birim hacminde depolanan enerji ne kadardır?

Demir kısmın toplam hacminde depolanan enerji ne kadardır? Demir kısmında depolanan enerji sistemin toplam enerjisinin $\%$ kaçadır?

d) Hava aralığının birim hacminde depolanan enerji ne kadardır?

Hava aralığının toplam hacminde depolanan enerji ne kadardır?

Hava aralığında depolanan enerji sistemin toplam enerjisinin $\%$ kaçadır?

e) Olusan kuvvetin zamana göre ortalamasını bulunuz.

ii) Devingen öge minimum hava aralığı konumunda iken;

f) Magnetik devrede dolayan akıyı bulunuz.

g) Sistemde depolanan enerji ne kadardır?

h) Demir kısmın birim hacminde depolanan enerji ne kadardır?

Demir kısım toplam hacminde depo edilen enerji ne kadardır?

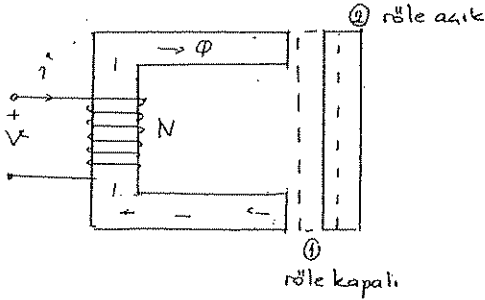
Demir kısmında depolanan enerji, sistemin toplam enerjisinin $\%$ kaçadır?

i) Hava aralığında birim hacminde depolanan enerji ne kadardır?

Hava aralığının toplam hacminde depolanan enerji ne kadardır?

Hava aralığında depolanan enerji sistemin toplam enerjisinin $\%$ kaçadır?

j) Olusan kuvvetin zamana göre ortalamasını bulunuz.

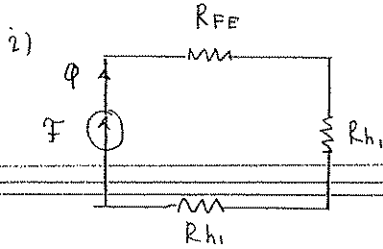


Alternatif gerilim uygulandığında magnetik sistemde dolusan akıda sinüzoidal olur. Yani; $\Phi = \Phi_m \cdot \sin \omega t$

$$e = N \frac{d\Phi}{dt} = \underbrace{N \cdot \omega \cdot \Phi_m}_{E_m} \cos \omega t$$

$$E_m = N \cdot \omega \cdot \Phi_m$$

$$E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = \frac{N \cdot \omega \cdot \Phi_m}{\sqrt{2}} = 4,44 \cdot N \cdot f \cdot \Phi_m \text{ olur.}$$



$$R_{FE} = \frac{10 \cdot 10^{-2}}{4500 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 10^{-4}} = 0,177 \cdot 10^6 \text{ A/WL}$$

$$R_{hi} = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 10^{-4}} = 15,915 \cdot 10^6 \text{ A/WL}$$

$$R_{es} = R_{FE} + 2 R_{hi} = 32,007 \cdot 10^6 \text{ A/WL}$$

$$a) E = 4,44 \cdot N \cdot f \cdot \Phi_m \Rightarrow \Phi = \frac{\Phi_m}{\sqrt{2}} = \frac{12}{4,44 \cdot 5000 \cdot 50 \cdot \sqrt{2}} = 7,644 \cdot 10^{-6} \text{ WL}$$

$$b) W = \frac{1}{2} R_{es} \cdot \Phi_{top}^2 = \frac{1}{2} \cdot 32,007 \cdot 10^6 \cdot (7,644 \cdot 10^{-6})^2 = 9,351 \cdot 10^{-4} \text{ J}$$

$$c) V_{FE} = 10^{-4} \cdot 10 \cdot 10^{-2} = 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$W_{FE} = \frac{1}{2} R_{FE} \cdot \Phi^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,177 \cdot 10^6 \cdot (7,644 \cdot 10^{-6})^2 = 5,171 \cdot 10^{-6} \text{ J}$$

$$W_{FE} = \frac{W_{FE}}{V} = \frac{5,171 \cdot 10^{-6}}{10^{-5}} = 0,517 \text{ J/m}^3$$

$$\frac{5,171 \cdot 10^{-6}}{9,351 \cdot 10^{-4}} \cdot 100 = \% 0,553$$

$$d) V_h = 10^{-4} \cdot 4 \cdot 10^{-3} = 4 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3$$

$$W_h = \frac{1}{2} R_{h_{top}} \cdot \Phi^2 = \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 15,915 \cdot 10^6 \cdot (7,644 \cdot 10^{-6})^2 = 3,299 \cdot 10^{-4} \text{ J}$$

$$W_h = \frac{W_h}{V} = \frac{3,299 \cdot 10^{-4}}{4 \cdot 10^{-7}} = 2324,75 \text{ J/m}^3$$

$$\frac{3,299 \cdot 10^{-4}}{9,351 \cdot 10^{-4}} \cdot 100 = \% 99,443$$

$$e) F = \frac{B^2}{2\mu_0} \cdot A, \quad B = \frac{\Phi}{A}, \quad e(t) = 12\sqrt{2} \cdot \sin 100\pi t$$

$$e = -N \cdot \frac{d\Phi}{dt} \Rightarrow \Phi(t) = -\frac{1}{N} \int e(t) \cdot dt$$

$$\Phi(t) = \frac{12\sqrt{2}}{5000 \cdot 100\pi} \cdot \cos 100\pi t = 1,08 \cdot 10^{-5} \cos 100\pi t \text{ (Wb)}$$

$$\Phi = \frac{\Phi_M}{\sqrt{2}} = 7,64 \cdot 10^{-6} \text{ Wb (Daha önce bulunan sonuç ile aynıdır)}$$

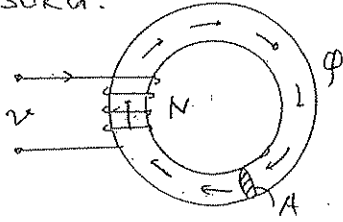
$$B(t) = 0,108 \cdot \cos 100\pi t \text{ (T)}$$

$$F = \frac{(0,108 \cdot \cos 100\pi t)^2 \cdot 2 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7}} = 0,929 \cdot \cos^2 100\pi t \text{ (N)}$$

$$F_{\text{ort}} = 0,929 \cdot \left(\frac{1}{2} (1 + \cos 200\pi t) \right) = 0,464 \text{ N}$$

2. durumda hava aralığı 0,1mm alınarak işlemler tekrarlanır.

SORU:



Sargı 220V, 50Hz şebekeden beslendiğinde, magnetik devrede oluşan girdap akımı kayıpları 100 W'dır. Sargılar 250V, 25Hz'lik kaynaktan beslendiğinde, magnetik devrede oluşan girdap akımı kayıpları

ne kadar olur? Sargı direnci gözardı edilebilecek kadar küçüktür.

$$e_1(t) = 220\sqrt{2} \cdot \sin 100\pi t$$

$$e_2(t) = 250\sqrt{2} \cdot \sin 50\pi t$$

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

$$220\sqrt{2} \cdot \sin 100\pi t = N \cdot \frac{d\Phi_1}{dt} \Rightarrow \Phi_1(t) = \frac{220\sqrt{2}}{N} \int \sin 100\pi t \cdot dt$$

$$\Phi_1(t) = \frac{220\sqrt{2}}{100\pi \cdot N} \cdot \cos 100\pi t \text{ Wb.}$$

$$250\sqrt{2} \cdot \sin 50\pi t = N \cdot \frac{d\Phi_2}{dt} \Rightarrow \Phi_2(t) = \frac{250\sqrt{2}}{N} \int \sin 50\pi t \cdot dt.$$

$$\Phi_2(t) = \frac{250\sqrt{2}}{50\pi \cdot N} \cdot \cos 50\pi t \text{ Wb}$$

$$B_{M1} = \frac{220\sqrt{2}}{100\pi \cdot N \cdot A}, \quad B_{M2} = \frac{250\sqrt{2}}{50\pi \cdot N \cdot A} \text{ olur.}$$

$$\frac{P_{g1}}{P_{g2}} = \frac{K_g \cdot f_1^2 \cdot B_{m1}^2}{K_g \cdot f_2^2 \cdot B_{m2}^2}$$

$$\frac{100}{P_{g2}} = \frac{50^2 \cdot 2,2^2}{25^2 \cdot 5^2} \Rightarrow P_{g2} = 129,132 \text{ W}$$

SORU: Sarım sayısı 300 ve etkin demir kesiti $48,2 \text{ cm}^2$ olan demir çekirdek bir sargıya 50 Hz frekanslı 220 V uygulanıyor. Sargının akısını ve akı yoğunluğunu bulunuz. Sargının direnci gözardı edilebilecek kadar küçüktür.

$$e(t) = 220\sqrt{2} \cdot \sin 100\pi t \text{ V}$$

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

$$220\sqrt{2} \cdot \sin 100\pi t = -300 \cdot \frac{d\phi(t)}{dt}$$

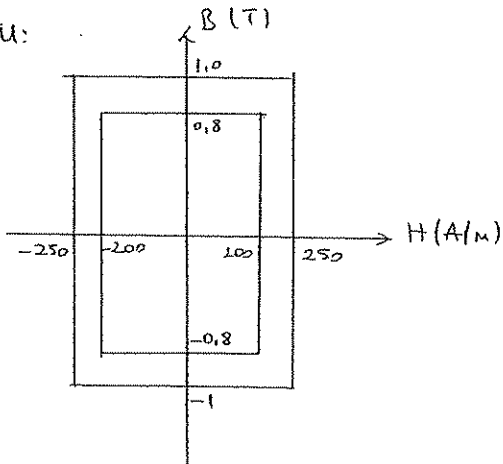
$$\phi(t) = -\frac{220\sqrt{2}}{300} \int \sin 100\pi t \cdot dt = \frac{220\sqrt{2}}{100\pi \cdot 300} \cdot \cos 100\pi t \text{ Wb.}$$

$$\phi(t) = 3,301 \cdot \cos 100\pi t \text{ (m Wb)}$$

$$B(t) = \frac{\phi(t)}{A} = \frac{3,301}{48,2 \cdot 10^{-4}} \cdot \cos 100\pi t \text{ mT}$$

$$B(t) = 0,685 \cdot \cos 100\pi t \text{ (T)}$$

SORU:



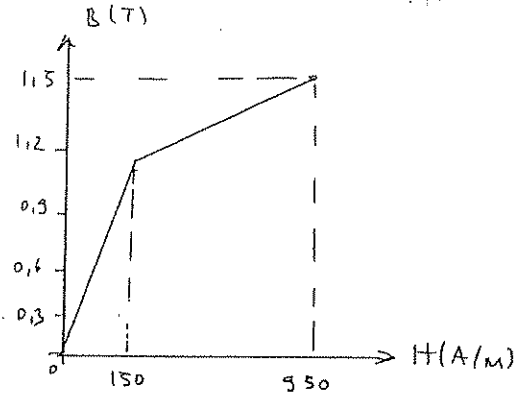
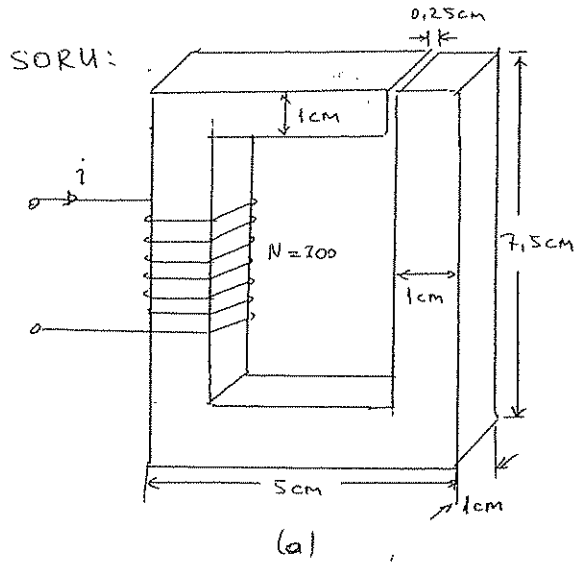
Yandaki şekilde bir sac pakettinin değişik akı yoğunluklarındaki B-H çevrimleri verilmiştir. Malzemenin steintmenz değişmezini bulunuz.

$$B \cdot H = T \cdot \frac{A}{m} = \frac{Wb}{m^2} \cdot \frac{A}{m} = \frac{VA \cdot s}{m^3}$$

$$P = B \cdot H \cdot V \cdot f \Rightarrow \frac{P_{h1}}{P_{h2}} = \frac{1,6 \cdot 400}{2 \cdot 500} = \frac{3,2}{5}$$

$$\frac{P_{h1}}{P_{h2}} = \frac{K_h \cdot f \cdot B_{m1}^n}{K_h \cdot f \cdot B_{m2}^n} = 0,64 = \left(\frac{1,6}{2}\right)^n$$

$$n = 2 \text{ bulunur.}$$



Şekil a 'da bir reaktör ve boyutları verilmiştir. Şekil b'de ise bu reaktör çekirdeğinin yapıldığı malzemenin parçalı biçimde doğrusallaştırılmış B-H eğrisi görülmektedir.

Buna göre;

a) Kaçak akılar ve hava aralığındaki akı saptırmaları yok varsayarak, magnetik akı yoğunluğunun 1.5 T'lik değeri için magnetik alanda biriken enerjiyi hesaplayınız.

b) Reaktörün endüktansını bulunuz.

a)

$$B = \mu \cdot H$$

$$1.5 = \mu \cdot 950 \Rightarrow \mu = 1.58 \cdot 10^{-3}$$

$$R_h = \frac{l_h}{\mu_0 A} = \frac{0.25 \cdot 10^{-2}}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 10^{-4}} = 19.9 \cdot 10^6 \text{ A/Wb.}$$

$$R_{FF} = \frac{l_{FF}}{\mu \cdot A} = \frac{(4 + 6.5 + 3.75 + 6.5) \cdot 10^{-2}}{1.58 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-4}} = 1.313 \cdot 10^6 \text{ A/Wb.}$$

$$R_{e\varnothing} = R_{FF} + R_h = 21.213 \cdot 10^6 \text{ A/Wb.}$$

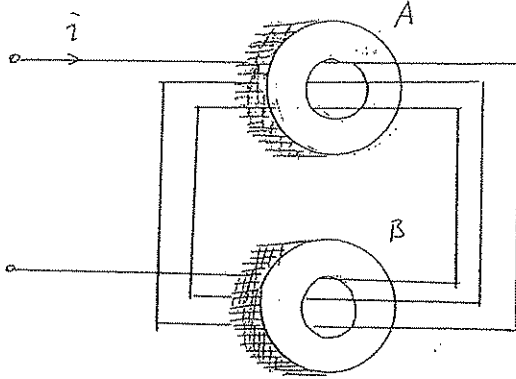
$$\Phi = B \cdot A = 1.5 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$$

$$W = \frac{1}{2} R_{e\varnothing} \cdot \Phi^2 = \frac{1}{2} \cdot 21.213 \cdot 10^6 \cdot (1.5 \cdot 10^{-4})^2 = 0.23865 \text{ J}$$

b)

$$L = \frac{N^2}{R_{e\varnothing}} = \frac{1 \cdot 300^2}{21.213 \cdot 10^6} = 4.24 \text{ mH.}$$

SORU:



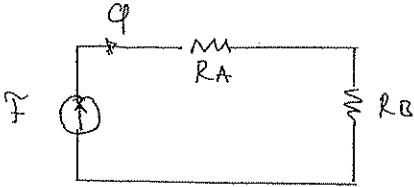
800 sonmlu sargı iki toroid den şekilde gösterildiği gibi
gececek şekilde sonlmıtır. A sekirdeğinin orta çapı 100mm ve
enine kesit alanı 150 mm^2 'dir. B sekirdeğinin orta çapı 120mm ve
enine kesit alanı 250 mm^2 'dir. Malzemenin bağıl magnetik geçirgen-
liği 2800 'dir.

- Her bir sekirdeğin magnetik direncini bulunuz.
- Sistemin magnetik esdeğer devresini çiziniz.
- Sargının $0,2 \text{ Wb}$ 'lik toplam akı oluşturmaları için sargıdan
geçmesi gereken akımı bulunuz.

$$R = \frac{l}{\mu \cdot A} \rightarrow \begin{array}{l} l \rightarrow \text{Akının aldığı yol (Toroid içinde)} \\ \mu \cdot A \rightarrow \text{Akının gördüğü kesit alan (Toroid içinde)} \end{array}$$

$$R_A = \frac{2\pi r_A}{\mu_0 \mu_r A_A} = \frac{2\pi \cdot 50 \cdot 10^{-3}}{2800 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 150 \cdot 10^{-6}} = 5,95 \cdot 10^5 \text{ A/Wb.}$$

$$R_B = \frac{2\pi r_B}{\mu_0 \mu_r A_B} = \frac{2\pi \cdot 60 \cdot 10^{-3}}{2800 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 250 \cdot 10^{-6}} = 4,2857 \cdot 10^5 \text{ A/Wb.}$$

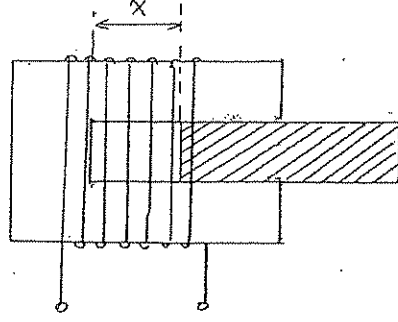


$$\phi = 0,2 \text{ Wb.}$$

$$N \cdot i = \phi \cdot R_{\text{es}} = \phi \cdot (R_A + R_B)$$

$$i = \frac{0,2 \cdot 10,24 \cdot 10^5}{800} = 256 \text{ A.}$$

SORU:



Sekilde gösterilen ağıt kapı zilidir. Devringen dge (sekilde gösterilemeyen) bir yaya karşı devinmektedir. Sargı 12V, 50Hz lik kaynaktan beslenmektedir. Yapının endüktansı $L(x) = 2 \cdot e^{-x/2}$ H olarak değişmektedir. x burada cm olarak verilmiştir.

a) $x=0$ iken kaynaktan çekilen akımı bulunuz. Akımın zamana bağlı değişim ifadesini yazınız.

b) $x=0$ iken devringen paraya etki eden kuvveti zamana göre ortalamasını bulunuz.

a) $x=0$ için $L = 2$ H.

$$e(t) = 12\sqrt{2} \cdot \sin 100\pi t$$

$$e = -N \cdot \frac{d\Phi}{dt} \Rightarrow \Phi(t) = -\frac{1}{N} \int e(t) \cdot dt = \frac{12\sqrt{2}}{N \cdot 100\pi} \cdot \cos 100\pi t$$

$$L = \frac{N\Phi}{i} \Rightarrow i = \frac{6\sqrt{2}}{100\pi} \cdot \cos 100\pi t$$

$$i(t) = 27 \cdot \cos 100\pi t \text{ (mA)}$$

b) $F_e = \frac{i^2}{2} \cdot \frac{dL}{dx} = \frac{1}{2} \cdot (27 \cdot 10^{-3} \cdot \cos 100\pi t)^2 \cdot 2 \cdot (-0,5) \cdot e^{-x/2} \Big|_{x=0}$

$$F_e = -3,645 \cdot 10^{-4} \cdot \cos^2 100\pi t$$

$$F_{e_{ort}} = -3,645 \cdot 10^{-4} \cdot \left(\frac{1}{2} (1 + \cos 200\pi t) \right)$$

ortalama = 0'dır.

$$F_{e_{ort}} = -1,8225 \cdot 10^{-4} \text{ N.}$$

$$2. \frac{d i_1(t)}{dt} - \frac{5}{2} \left(-\frac{I_0}{X_0^2} \cdot X_1(t) + \frac{i_1(t)}{X_0} \right) = 3. \frac{d X_1(t)}{dt}$$

$$2. \frac{d i_1(t)}{dt} - 3. \frac{d X_1(t)}{dt} - \frac{X_1(t)}{5} - \frac{i_1(t)}{2} = 0$$

$$c) 2. (s \cdot I_1(s) - I_1(0)) - 3. (s \cdot X_1(s) - X_1(0)) - \frac{X_1(s)}{5} - \frac{I_1(s)}{2} = 0$$

$$I_1(s) (2s - 0,5) = X_1(s) (3s + 0,2)$$

$$T(s) = \frac{X_1(s)}{I_1(s)} = \frac{2s - 0,5}{3s + 0,2}$$

$$d) i_1(t) = 0,5 e^{-t} \Rightarrow I_1(s) = \frac{0,5}{s+1}$$

$$X_1(s) = T(s) \cdot I_1(s)$$

$$X_1(s) = \frac{s - 0,25}{(3s + 0,2) \cdot (s+1)} = \frac{A}{s+1} + \frac{B}{3s+0,2}$$

$$As + A + 3Bs + 0,2B = s - 0,25$$

$$A + 3B = 1$$

$$-1/A + 0,2B = -0,25$$

$$2,8B = 1,25 \Rightarrow B = 0,446, A = -0,339$$

$$X_1(t) = -\frac{0,339}{3} \cdot e^{-0,2/3 t} + 0,446 \cdot e^{-t} \text{ m.}$$

$$d) \lim_{t \rightarrow \infty} i_1(t) = 0$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} X_1(t) = 0$$

} sistem kararlıdır.

SORU: Bir sisteme ilişkin denklem,

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

ile ifade edilmektedir.

- Sistemin bir çalışma noktası için bağıntı bulunuz.
- Sistemin çalışma noktası $V_0 = 5V$ iken X_0 nedir?
- Sistemin çalışma noktası etrafında küçük genlikli değişimler için doğrusallaştırılmış denklemi bulunuz.
- Sistemin geçiş işlevini $X_1(s)/V_1(s)$ bulunuz.
- $v_1(t) = 0,1 \cdot e^{-t}$ (V) olarak değişirken $X_1(t)$ nasıl değişir.
- Sistemin kararlılığını irdelleyiniz.

$$a) X = X_0 + X_1(t)$$

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

$$\frac{dx}{dt} = \frac{d}{dt} (X_0 + X_1(t)) = \frac{dX_1(t)}{dt}$$

$$\frac{v^2}{x} = \frac{(V_0 + v_1(t))^2}{X_0 + X_1(t)} = \frac{V_0^2 + 2V_0 \cdot v_1(t) + v_1(t)^2}{X_0 + X_1(t)}$$

$$= \frac{V_0^2}{X_0 + X_1(t)} + \frac{2V_0 v_1(t)}{X_0 + X_1(t)} + \frac{v_1(t)^2}{X_0 + X_1(t)} \quad \text{ihmal}$$

$$= \frac{V_0^2}{X_0 \left(1 + \frac{X_1(t)}{X_0}\right)} + \frac{2V_0 v_1(t)}{X_0 \left(1 + \frac{X_1(t)}{X_0}\right)}$$

$$= \frac{V_0^2}{X_0} \left(1 - \frac{X_1(t)}{X_0} + \left(\frac{X_1(t)}{X_0}\right)^2 - \dots\right) + \frac{2V_0 v_1(t)}{X_0} \left(1 - \frac{X_1(t)}{X_0} + \left(\frac{X_1(t)}{X_0}\right)^2 - \dots\right) \quad \text{ihmal}$$

$$= \frac{V_0^2}{X_0} - \frac{V_0^2}{X_0^2} \cdot X_1(t) + \frac{2V_0 v_1(t)}{X_0} - \frac{2V_0 v_1(t)}{X_0^2} \cdot X_1(t) \quad \text{ihmal}$$

$$\frac{dX_1(t)}{dt} + \frac{2V_0^2}{X_0} - \frac{2V_0^2}{X_0^2} X_1(t) + \frac{2V_0 v_1(t)}{X_0} = 10$$

$$b) 2 \frac{V_0^2}{X_0} = 10$$

$$2 \cdot \frac{25}{X_0} = 10 \Rightarrow X_0 = 5$$

$$c) \frac{dX_1(t)}{dt} - 2 \frac{V_0^2}{X_0^2} X_1(t) + 4 \frac{V_0}{X_0} V_1(t) = 0$$

$$d) (s \cdot X_1(s) - X_1(0)) - 2 \cdot (s X_1(s) - X_1(0)) + 4 V_1(s) = 0$$

$$s X_1(s) - 2s X_1(s) + 4 V_1(s) = 0$$

$$X_1(s) (s - 2s) = -4 V_1(s)$$

$$\frac{X_1(s)}{V_1(s)} = \frac{4}{s}$$

$$e) V_1(t) = 0,1 \cdot e^{-t} \Rightarrow V_1(s) = \frac{0,1}{s+1}$$

$$X_1(s) = \frac{0,4}{s \cdot (s+1)} = \frac{A}{s} + \frac{B}{s+1}$$

$$As + A + Bs = 0,4$$

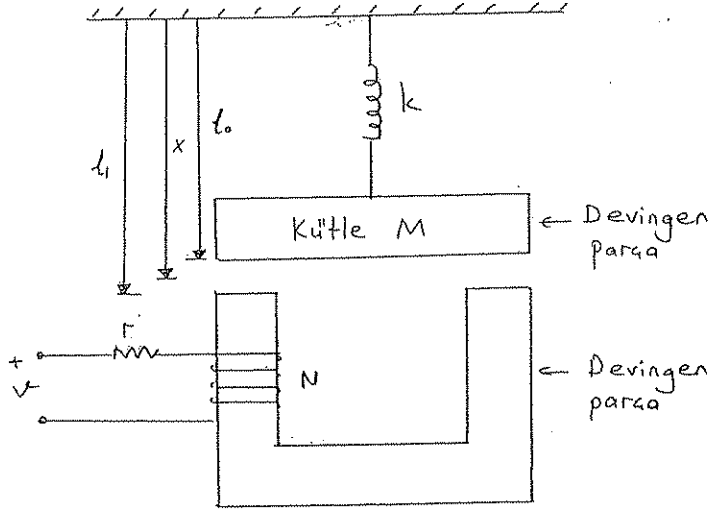
$$A + B = 0, A = 0,4, B = -0,4$$

$$X_1(s) = \frac{0,4}{s} - \frac{0,4}{s+1} \Rightarrow X_1(t) = 0,4 - 0,4 \cdot e^{-t} = 0,4 \cdot (1 - e^{-t})$$

$$f) \left. \begin{array}{l} \lim_{t \rightarrow \infty} X_1(t) = 0,4 \\ \lim_{t \rightarrow \infty} V_1(t) = 0 \end{array} \right\} \text{ Sistem kararlıdır.}$$

NOT: $\lim_{t \rightarrow \infty} f(t) = \infty$ ise sistem kararsız olur.

SORU:



Şekildeki aygıt yalnızca düşey doğrultuda devinim yapabilmektedir. Magnetik malzemenin bağıl magnetik geçirgenliği sonsuz büyüktür. Akı sarmaların ve kaçak akılar gözardı 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 kalışma noktası bularak, bu nokta civarındaki küçük genlikli değişimler için bu denklemleri doğrusallaştırınız.

a) Elektriksel kısma ilişkin denklem:

$$\begin{aligned}
 V &= r \cdot i + e, \quad e = \frac{d\lambda}{dt} = \frac{dL i}{dt} \\
 &= r \cdot i + \frac{dL i}{dt} \\
 &= r \cdot i + L \cdot \frac{di}{dt} + i \cdot \frac{dL}{dt} = r \cdot i + L \cdot \frac{di}{dt} + i \cdot \frac{dL}{dx} \cdot \frac{dx}{dt}
 \end{aligned}$$

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

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:

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

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

Derinim denklemini yeniden yazalım:

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

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

$$\left. \begin{array}{l} \mathcal{V}(t) = \mathcal{V}_0 + \mathcal{V}_1(t) \\ i(t) = I_0 + i_1(t) \\ x(t) = X_0 + x_1(t) \end{array} \right\} \begin{array}{l} (\mathcal{V}_1, i_1, x_1) \text{ orjinal değişkenler, } (\mathcal{V}_0, I_0, X_0) \text{ ise.} \\ \text{ise. } (\mathcal{V}_0, I_0, X_0) \text{ noktası etrafındaki} \\ \text{değişimlerdir.} \end{array}$$

Doğrusal olmayan terimleri inceleyelim.

$$\begin{aligned} L &= \frac{\mu_0 \cdot A \cdot N^2}{2 \cdot (l_1 - x)} = \frac{\mu_0 \cdot A \cdot N^2}{2 \cdot (l_1 - x_0 - x_1)} = \frac{\mu_0 \cdot A \cdot N^2}{2 \cdot ((l_1 - x_0) - x_1)} \\ &= \frac{\mu_0 \cdot A \cdot N^2}{2 \cdot (l_1 - x_0) \left(1 - \frac{x_1}{l_1 - x_0} \right)} = \frac{\mu_0 \cdot A \cdot N^2}{2 \cdot (l_1 - x_0)} \cdot \frac{1}{1 - \frac{x_1}{l_1 - x_0}} \\ &\quad \underbrace{\frac{\mu_0 \cdot A \cdot N^2}{2 \cdot (l_1 - x_0)}}_{L_0 \text{ dernek}} \end{aligned}$$

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

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

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

Diğer taraftan,

$$\begin{aligned} \frac{dL}{dx} &= \frac{d}{dx} \left(L_0 + \frac{L_0 x_1}{1-x_0} + \frac{L_0 x_1^2}{(1-x_0)^2} + \frac{L_0 x_1^3}{(1-x_0)^3} + \dots \right) \\ &= \frac{L_0}{1-x_0} + \frac{2 L_0 x_1}{(1-x_0)^2} + \underbrace{\frac{3 L_0 x_1^2}{(1-x_0)^3} + \dots}_{\text{gözardı edilir}} \end{aligned}$$

Bu iki denklemden,

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

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

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

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

$$\frac{d\lambda}{dt} = L_0 \cdot \frac{di_1}{dt} + \frac{L_0 I_0}{1-x_0} \cdot \dot{x}_1 \text{ olur. (2)}$$

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

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

$$r I_0 + r \cdot i_1 + L_0 \frac{di_1}{dt} + \frac{L_0 I_0}{1-x_0} \cdot \dot{x}_1 = V_0 + V_1$$

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

Elektriksel denklemin doğrusallaşmış biçimi:

$$V_1 = r \cdot i_1 + L_0 \frac{di_1}{dt} + \frac{L_0 I_0}{1-x_0} \cdot \dot{x}_1$$

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

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

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

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

Sürekli durumda çalışma noktası;

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

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 elektromekanik dönüştürücünün davranışı aşağıdaki denklem ile ifade edilmektedir.

$$\frac{A}{X} + Bxi + Cx\frac{di}{dt} + Di^2 = E$$

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;

$$x(t) = \underbrace{X_0}_{\text{Kararlı çalışma noktası koordinatları}} + \underbrace{X_1(t)}_{\text{Küçük genlikli değişimler}} \quad \text{örneğin; } 3m + 3mm$$

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

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.

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

$$X \cdot \frac{di}{dt} = (X_0 + X_1) \cdot \frac{d(I_0 + i_1)}{dt} = \underbrace{(X_0 + X_1) \frac{dI_0}{dt}}_{I_0 = sb \text{ old} = 0} + (X_0 + X_1) \cdot \frac{di_1}{dt}$$

$$= \boxed{X_0 \cdot \frac{di_1}{dt}} + \cancel{X_1 \cdot \frac{di_1}{dt}} \text{ ihmal}$$

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:

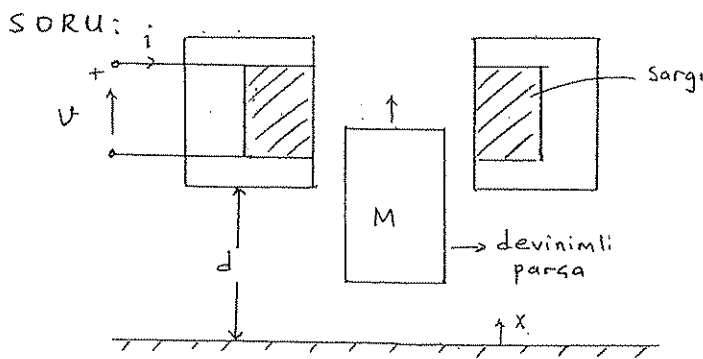
$$\frac{1}{1-x} = 1 + x + x^2 + \dots$$

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

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

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

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



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

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

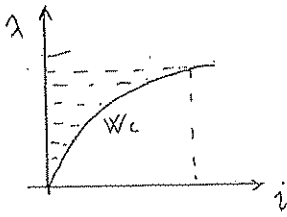
Burada a ve b değişmezleri göstermektedir. Devinimli kısma etki eden kuvveti bulunuz?

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.



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

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

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

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

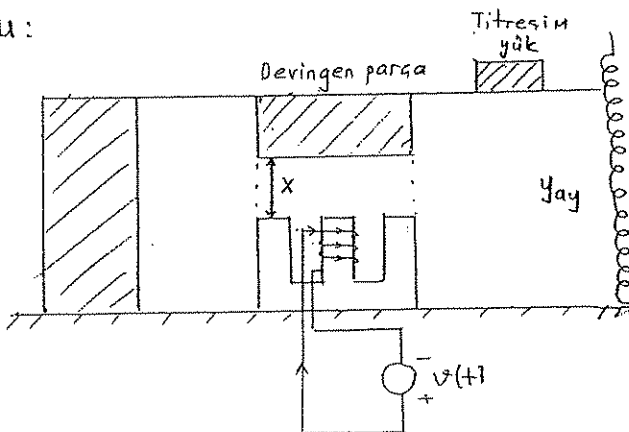
Kuvvet ifadesi $F_e = -\frac{\partial W}{\partial x}$

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

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

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

SORU:



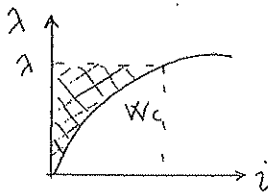
Bir titreşim makinası şekilde gösterilen yapıdadır. Makinanın elektromagneti karşıda bulunan deringen parçası çekmekte, yay buna engel olmaya çalışmaktadır. Bunun sonucunda yük titreşim yapabilmektedir. Elektromagnetik sargının endüktansı:

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

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.

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



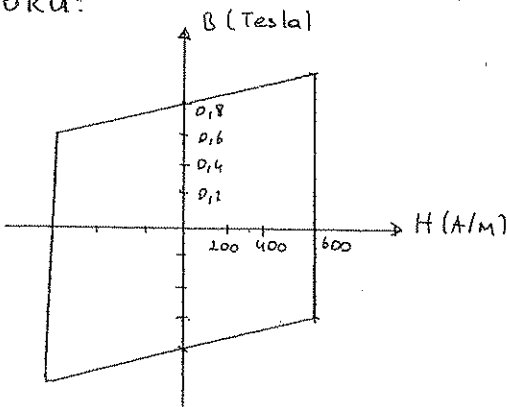
Bu ifadeden akı bağımsız değişken olduğundan öncelikle enerjiyi sonra x 'e göre türev alarak kuvveti bulabiliriz.

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

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

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

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 icinden $i(t) = 50 \cdot (1 - e^{-t})$ Amper'lik bir akım aktmaktadır.

a) İletkene etkileyen 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.

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

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

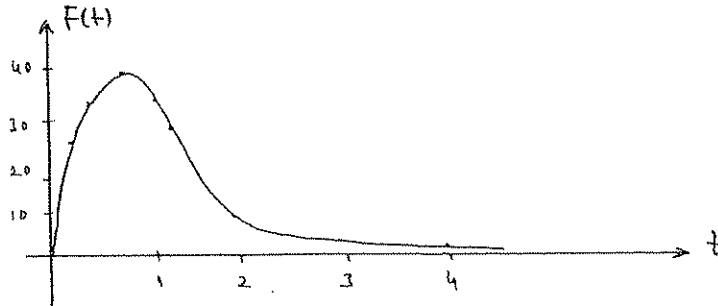
$$\ln\left(\frac{1,5}{2,5}\right) = \ln e^{-t} \Rightarrow t = 0,51083 \text{ sn.}$$

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

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

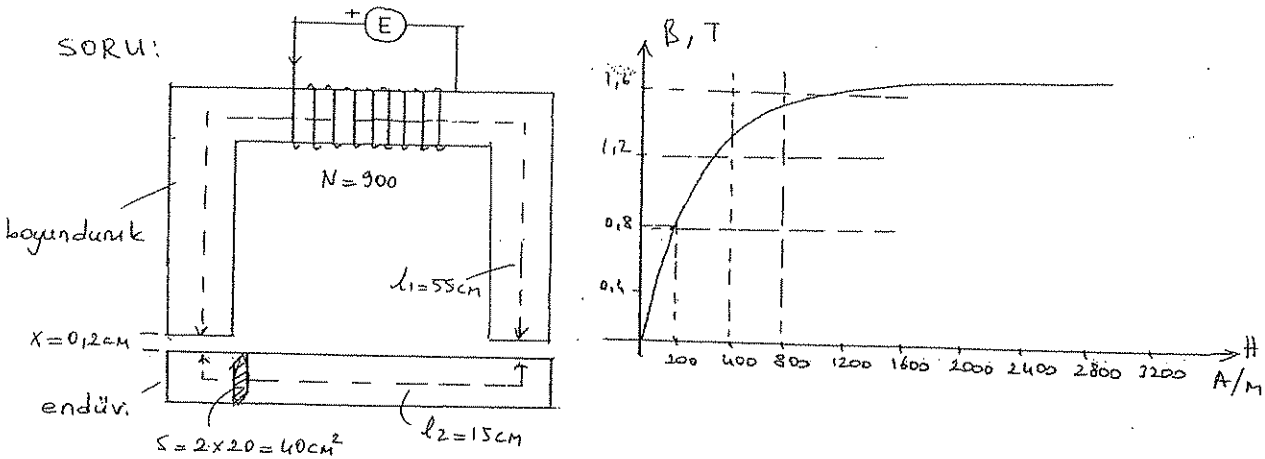
c)

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. Boyunduk ve endüvinin yapıldığı yumuşak magnetik matzemenin $B-H$ eğrisi şekilde vermiştir. Boyutlara ilişkin bilgilerde şekilde yer almaktadır. Kacık akı ve hava aralığındaki akı sızmaları yok varsayılacaktır. Buna göre endüvinin 981N 'luk kuvvetle çekildiği sırada E gerilimi ne olmalıdır?

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

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.

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

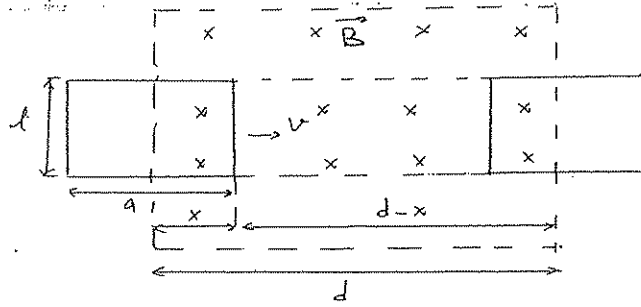
$$N \cdot I = \frac{B_h}{\mu_0} \cdot l_h + H_m \cdot l_m = \frac{0,555}{4\pi \cdot 10^{-7}} \cdot 2 \cdot 0,12 \cdot 10^{-2} + 133,75 \cdot (55+15) \cdot 10^{-2}$$

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

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

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

SORU:



Şekilde dikdörtgen biçimli iletken tel vermiştir. İletkenin direnci $1\ \Omega$, genişliği t , 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.

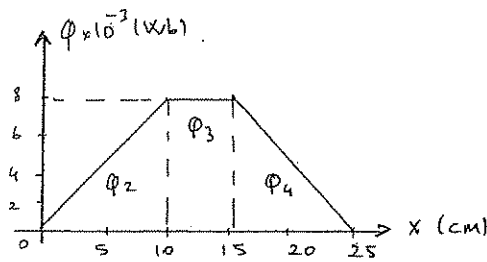
c) İletkende oluşan ısı enerjisini x 'e göre çiziniz.

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

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

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

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



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

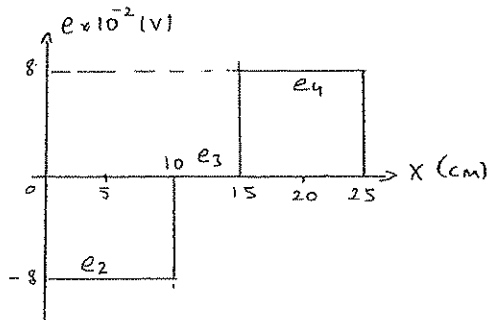
$$0 < x < 10 \text{ iken } \Phi_2(x) = B \cdot t \cdot x$$

$$x = 10 \text{ için } \Phi_2 = 2,4 \cdot 10^{-2} \cdot 10 \cdot 10^{-2} = 8 \cdot 10^{-3} \text{ Wb}$$

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

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

$$x = 25 \text{ için } \Phi_4 = 2,4 \cdot 10^{-2} (10 - (25 - 15)) = 0$$



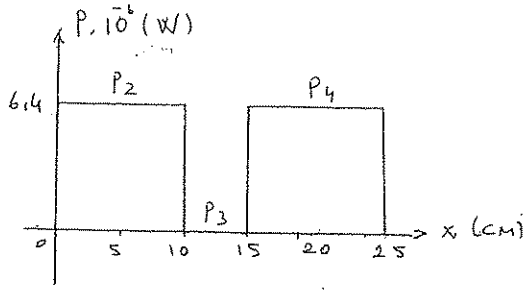
$$M = 1 \text{ old. göre } e = - \frac{d\Phi}{dt} = - \frac{d\Phi}{dx} \left(\frac{dx}{dt} \right) v$$

$$e_1 = 0$$

$$e_2 = - B \cdot t \cdot v = - 2,4 \cdot 10^{-2} \cdot 1 = - 8 \cdot 10^{-2} \text{ V}$$

$$e_3 = 0$$

$$e_4 = + B \cdot t \cdot v = 2,4 \cdot 10^{-2} \cdot 1 = 8 \cdot 10^{-2} \text{ V}$$



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

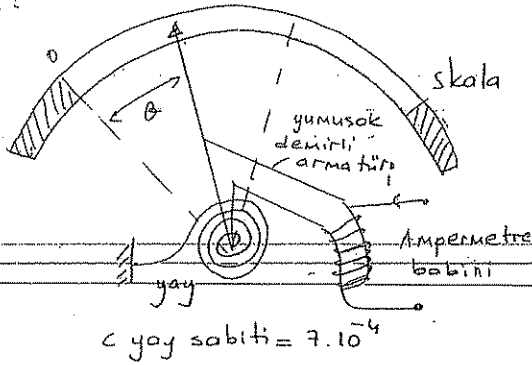
$$P_1 = 0$$

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

$$P_3 = 0$$

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

SORU:



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

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

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

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

$$i = 10 \text{ A için sapma açısı } \theta = 1,429 \text{ rad} \text{ oluyorsa bu durumda}$$

$$\text{bobinin empedansı } L(\theta) = (5 + 20\theta) \cdot 10^{-6}$$

$$= (5 + 20 \cdot 1,429) \cdot 10^{-6} \Rightarrow L = 33,58 \mu\text{H} \text{ olur.}$$

$$\text{Bobinin empedansı } Z_B = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{R^2 + (WL)^2}$$

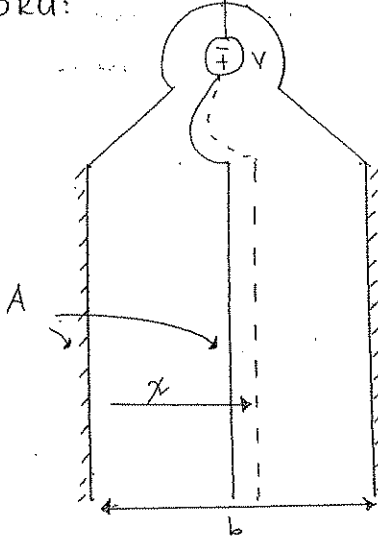
$$= \sqrt{0,02^2 + (2\pi \cdot 50 \cdot 33,58 \cdot 10^{-6})^2}$$

$$= 22,61 \times 10^{-3} \Omega$$

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

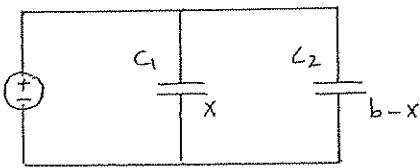
①

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 genilim 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 çizin.



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

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

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

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

$$i \Leftrightarrow v$$

$$L \Leftrightarrow C$$

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

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

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

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

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

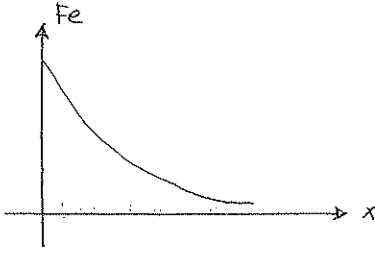
$$2bx = b^2 \Rightarrow x = \frac{b}{2} \text{ değerinde kuvvet etki etmez.}$$

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

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

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

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



①

SORU: İki elektriksel ve iki mekanik kapısı 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 etkileyen kuvvetleri bulunuz.

Bağımsız değişkenler akıdır. (λ_1 ve λ_2) 0 holde enerjiji hesap-

layalım.

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

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

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

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

a) Co-enerji fonksiyonunu enerji fonksiyonundan yararlanarak bulalım.

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

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

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

b) 1. mekanik kapaıya etkileyen kuvvet:

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

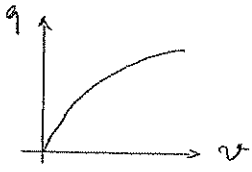
2. mekanik kapıya etkiyen kuvvet,

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

SORU: Dönme hareketi yapan bir elektrostatik enerji dönüştürücü-
sünün kapasitesi $C = (V\theta)^3 + V \cdot \cos \theta$ (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 etkiyen mo-
menti bulunuz.



$$\begin{array}{l} L \Rightarrow C \\ A \Rightarrow q \\ i \Rightarrow V \end{array} \quad L = \frac{\lambda}{i} \Rightarrow \lambda = L \cdot i$$

$$\begin{array}{l} \downarrow \downarrow \downarrow \\ q = C \cdot V \end{array}$$

$$q = V^4 \theta^3 + V^2 \cos \theta : V \text{ bağımsız değişken}$$

V bağımsız değişken ise co-enerjiden gidilir.

$$W_c = \int_0^V q \cdot dV = \int_0^V (V^4 \theta^3 + V^2 \cos \theta) \cdot dV = \frac{V^5}{5} \theta^3 + \frac{V^3}{3} \cos \theta \Big|_0^V$$

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

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 $M = \frac{\gamma^2}{2} \frac{dC}{d\theta}$ ifadesi yine bu problem çözümünde kullanılmaz.

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

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

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

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.

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

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

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

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

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

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

$$c) \lambda = Ai + Bi \cos \theta + K \cos \theta + M$$

Bağımsız değişken akım olduğu için co-enerjisi bulalım.

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

$$= \frac{Ai^2}{2} + \frac{Bi^2}{2} \cos \theta + Ki \cos \theta + Mi \Big|_0^i$$

$$W_c = \frac{A}{2} i^2 + \frac{B}{2} i^2 \cos \theta + Ki \cos \theta + Mi \quad (J)$$

Magnetik enerjiyi bulalım.

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

$$= Ai^2 + Bi^2 \cos \theta + Ki \cos \theta + Mi - \frac{A}{2} i^2 - \frac{B}{2} i^2 \cos \theta - Ki \cos \theta - Mi$$

$$W = \frac{Ai^2}{2} + \frac{Bi^2}{2} \cos \theta \quad (J)$$

$$d) M_e = + \frac{\partial W_c}{\partial \theta} = - \frac{Bi^2}{2} \sin \theta - Ki \sin \theta \quad (N.m)$$

e) Endüklenen gerilimi, Faraday yasasından yararlanarak bulalım.

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

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

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

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

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

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

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

③

SORU: Kayıpsız bir elektromekanik düzeneğin sargısına ilişkin endüktans,

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

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

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

bulunuz.

a) Sargıda endüklenen gerilimi Faraday yasasından yararlanarak bulalım.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$W = \frac{2}{3} \frac{(20 \cdot \sin(3,142))^3}{10 \cdot e^{-1,2}} = -153,445 \text{ J}$$

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

$$F_e = \frac{3 \cdot (20 \cdot \sin(3,142))^3}{3 \cdot (10 \cdot e^{-1,2})^2} + 20 \cdot \sin(3,142) = 16,622 \text{ N}$$

Problemin çözümünde $e = L \cdot \frac{di}{dt}$ bağıntısı kullanmak yanlış sonuç verir, çünkü bu bağıntı ancak L sabit iken geçerlidir. Halbuki soruda 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 acısal yer değiştirmesini göstermektedir. θ radyan, i ise amper birimindedir.

a) Dönüştürücüye etkileyen momentin ifadesini bulunuz.

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

a) Bağımsız değişken akımdır. Co-enerjiden gideceğiz.

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

(4)

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

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

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

$$A + B = 8$$

$$A + 2B = 13$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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) $\theta = \frac{\pi}{2}$ rad ve $i = 10$ A doym akım değerleri için momentin ani ve ortalama değerlerini bulunuz.

a) Bağımsız değişken akım olduğu için co-enerjiden problem

çözülür.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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 kaptı vardır. Buna göre dönüştürücünün temasını aızınız.

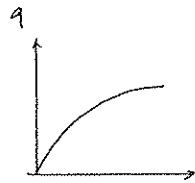
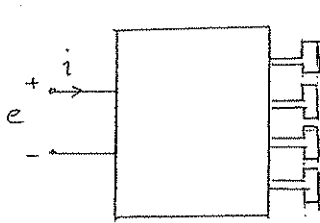
b) Dönüştürücünün enerji ve co-enerji işlevlerini bulunuz.

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

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

d) Mekanik kapılara etkiyen momentleri bulunuz.

a) Sistem bir elektriksel ve dört mekanik kaptıya sahiptir.



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

d) 1. mekanik kapiya etkiler 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 etkiler 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 etkiler moment,

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

4. mekanik kapiya etkiler moment,

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

③ 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 etkileyen 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 $\Phi = ai - i^2 \sin^3 \theta$ biçiminde değiştiği bilinmektedir. Aygıtla ilişkin sargının sarım sayısı N ' dir. Denklemde a bir değişmez, θ acisal yerdeğiştirmeyi göstermektedir. Sistemin mekanik kayıplarını sistemin dışına atarak, magnetik alanda biriken enerjiyi ve aygıtın hareketli kısmına etki eden elektromekanik momenti ve bu momenti maksimum yapan açıyı bulunuz.

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

Bağımsız değişken akımdır. Co-enerji bulunur.

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

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

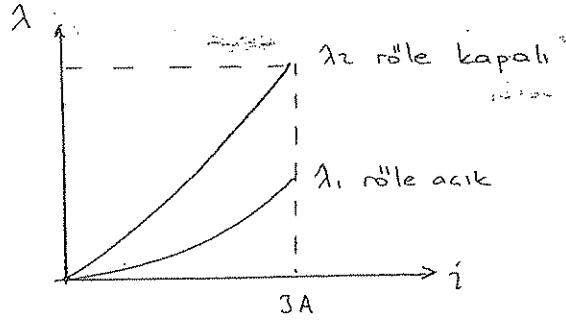
$$W = i \cdot \lambda - W_c = Nai^2 - Ni^3 \sin^3 \theta - \frac{Na}{2} i^2 + \frac{N \sin^3 \theta}{3} i^3$$

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

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

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

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 $3A$ 'dir.

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) Devinim sırasında, gerilim kaynağından sekilen enerjiyi bulunuz.

d) Devinim sırasında rölenin yaptığı işi bulunuz.

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

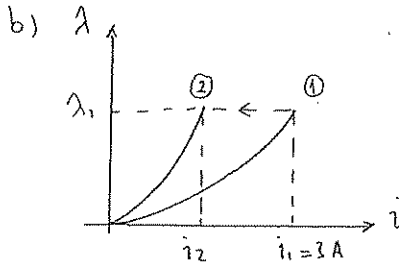
e) Sürekli durumda, sistemde depo edilen enerjiyi bulunuz.

f) Devinim sırasında, gerilim kaynağından sekilen elektrik enerjisini bulunuz.

g) Devinim sırasında rölenin yaptığı işi bulunuz.

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

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



$$\lambda_1 = 400 \cdot i_1^2 = 625 \cdot i_2^2$$

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

$$i_2 = 2,4$$

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

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

$$= 400 i_1^2 \cdot i_2 - \frac{625}{3} i_2^3$$

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

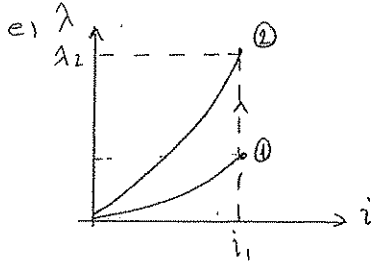
$$W = 3600 \cdot 2,4 - \frac{625}{3} \cdot 2,4^3$$

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

c) İlk durumda depo edilen enerji 7200 J 'dür. Bu enerjinin 5760 J ' ündü devrim için harcamıştır. Gerilim kaynağın dan.

enerji çekilmmiştir.

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



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

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

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

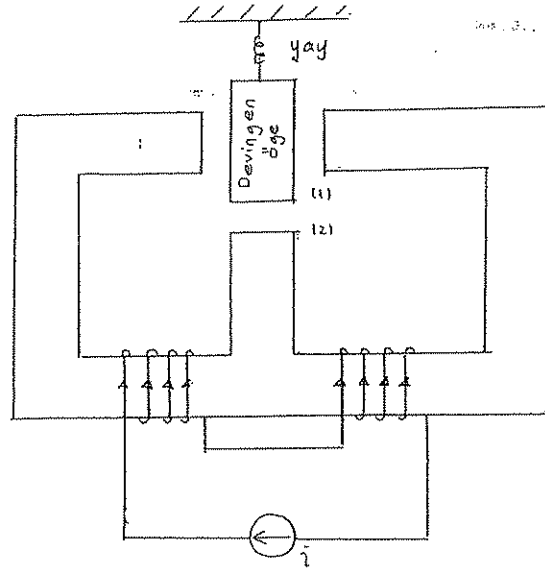
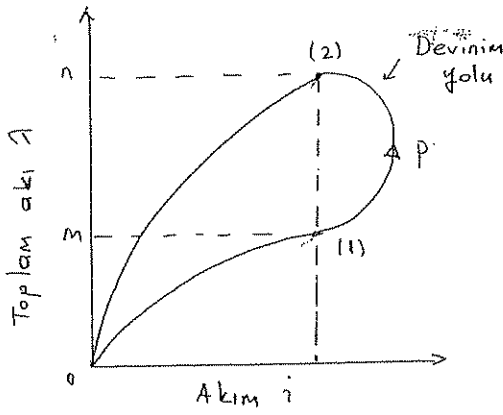
$$= \frac{1250}{3} i_1^3 = \frac{1250}{3} \cdot 3^3$$

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

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

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

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 $i = 5 \text{ A}$ 'dır. 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) Devrim çubuğunun yaptığı işi bulunuz.

e) Devrim çubuğuna etkileyen ortalama kuvveti bulunuz.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Kaynaktan çekilen enerji:

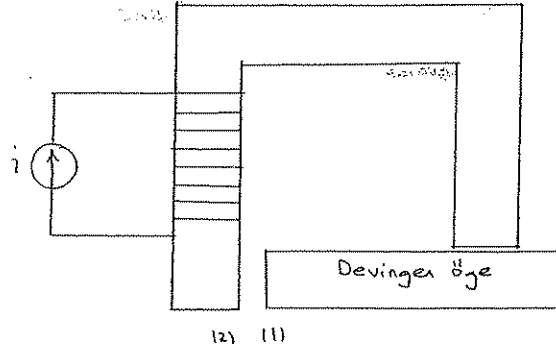
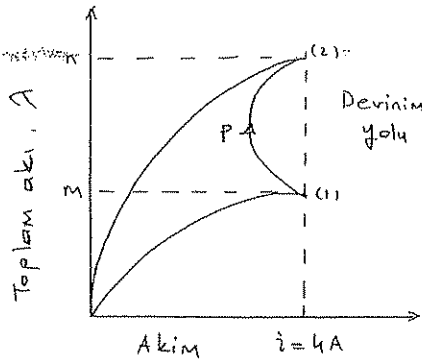
$$W = (n-m) \cdot i + \frac{\lambda r^2}{2} = 6 \cdot 5 + \frac{\lambda \cdot 9}{2} = 44,137 \text{ J.}$$

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

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

$$F_e = \frac{W}{x} = \frac{W}{P} = \frac{20}{3\pi} = 2,12 \text{ N}$$

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 depodilen enerjiyi hesaplayınız.

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

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

d) Devinin 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:

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

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

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

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

~~Sargının sarm sayısı 1620 ve direnci 55 Ω 'dur. Sargı distan~~

110V 'luk bir DA gerilim kaynağın dan 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 gesici durumdaki sargı akımının değişimini elde ediniz.

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

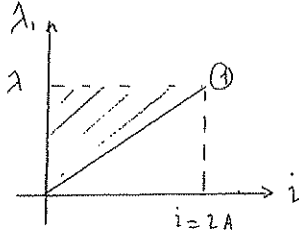
$$I = \frac{V}{R} = \frac{110}{55} = 2 \text{ A}$$

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

a) Röle açık iken;

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

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

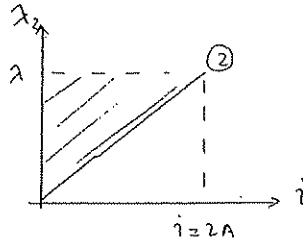


$$W = \frac{\lambda \cdot i}{2} = 0,648 \text{ J.}$$

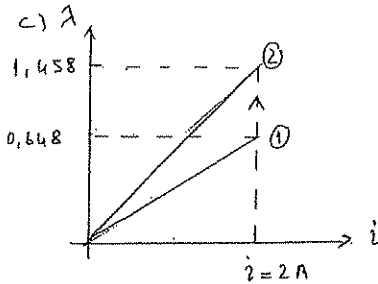
b) Röle kapalı iken;

$$x = 0,004 \text{ m} \quad \text{ise}$$

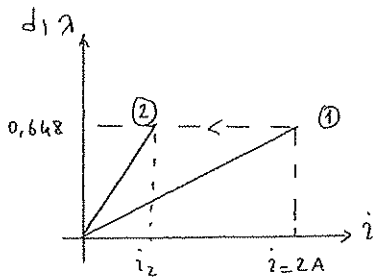
$$\lambda = \frac{5,832 \cdot 10^{-3}}{0,004} = 1,458 \text{ Wb}$$



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



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



② durumunda;

$$\frac{1620^2 \cdot i_2}{5 \cdot 10^8 \cdot 0,004} = 0,648$$

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

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

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

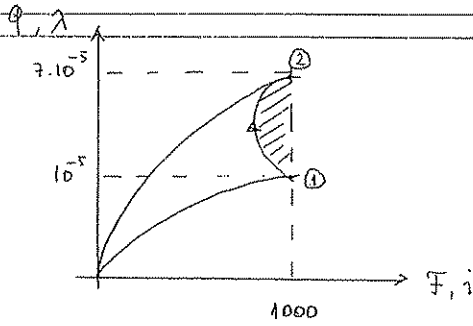
$$e) \Delta I = I' - I = 0,89 - 2 = -1,11 \text{ A.}$$

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.

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

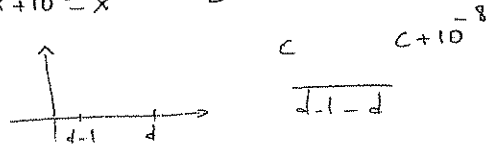
$$c) F_e \cdot dx = i \, d\lambda - dW$$

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

SORU: 100 V'lık doğru gerilim kaynağına bağlı, paralel levhali kondansatörün, levhaların arasındaki uzaklık 0,1 ms içerisinde 1 mm azaldığında, kondansatörün kapasitesinin 10^{-8} F arttığı gözleniyor.

- Kondansatörün levhalarına etkileyen 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.

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



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

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

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

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

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

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

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

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

$$b) W = v^2 \cdot \frac{dC}{dt} = 1 \text{ J}$$

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

$$d) W = v \cdot dq \\ 1 = 100 \cdot \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad (\Delta q)$$

$$e) Fe.$$

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

$$i) \Delta W = W_2 - W_1 \\ Fe \cdot dx$$

Motor sınırları:

$$M_e = J \frac{d\omega}{dt} + B \cdot \omega + M_f \quad (\omega(0) = 0)$$

$$\frac{M_e - M_f}{J} = \frac{d\omega}{dt} + \frac{B}{J} \omega \Rightarrow \text{Laplace ile çöz, } \omega(t) \text{ bul.}$$

$$P = \omega \cdot M$$

güç ↓ moment
açısal hız

$$P_{\text{aıkıs}} = \omega \cdot M_f$$

$$P_{\text{sür}} = \omega \cdot \frac{M_s}{\omega} = \omega \cdot \omega \cdot B = B \cdot \omega^2$$

$$P_{\text{giris}} = P_{\text{aıkıs}} + P_{\text{sür}} + P_{\text{cut}} + P_{\text{FE}}$$

$$\eta = \frac{P_{\text{aıkıs}}}{P_{\text{giris}}}$$

Motor ω hızında iken frenleme yapılırsa.

$$-M_e = J \frac{d\omega}{dt} + B \cdot \omega + M_f \quad (\omega(0) = \omega)$$

$$\frac{-M_e - M_f}{J} = \frac{d\omega}{dt} + \frac{B}{J} \omega \Rightarrow \text{Laplace ile çöz, } \omega(t) \text{ bul.}$$

Histeresiz ve girdap akımı kayıpları:

$$P_h = K_h \cdot f \cdot B_m^n \quad n: \text{Steinmetz değişmezi}$$

$$P_g = K_g \cdot f^2 \cdot B_m^2$$

$$P_{\text{FE}} = P_h + P_g$$

$$B \cdot H = \frac{W_b}{m^2} \cdot \frac{A}{m} = \frac{V \cdot s}{m^2} \cdot \frac{A}{m} = \frac{VA_s}{m^3} = \frac{J}{m^3}$$

$$W = B \cdot H \cdot V = J \quad (\text{Enerji})$$

$$P = B \cdot H \cdot V \cdot f = W \quad (\text{Güç kaybı})$$

Türev alma (co-enerji'de alınabilir)

$$e = N \cdot \frac{d\phi}{dt} = \frac{d\lambda(i, \theta)}{dt} = \frac{\partial \lambda}{\partial i} \frac{di}{dt} + \frac{\partial \lambda}{\partial \theta} \frac{d\theta}{dt}$$

Sargı uçlarındaki gerilim:

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1 & 0 \\ 0 & R_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} L_{11} & L_{12} \\ L_{21} & L_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix}$$

$$v_1 = R_1 \cdot i_1 + \frac{d}{dt} (L_{11} \cdot i_1) + \frac{d}{dt} (L_{12} \cdot i_2)$$

$$v_2 = R_2 \cdot i_2 + \frac{d}{dt} (L_{22} \cdot i_2) + \frac{d}{dt} (L_{21} \cdot i_1)$$

Endüktansların bulunması:

Toplamsallıktan gidilirse;

$i_2 = 0$, $i_3 = 0$ olsun. Devreden,

$$\Phi_1 = \frac{N_1 \cdot i_1}{R_{es}} \text{ bulunur.}$$

$$L_{11} = \frac{N_1 \cdot \Phi_1}{i_1} \text{ yazılır. *}$$

Yine devreden Φ_2 akısı bulunur. (yöne dikkat!!)

$$L_{12} = \frac{N_2 \cdot \Phi_2}{i_1} \text{ yazılır. *}$$

Φ_3 bulunur.

$$L_{13} = \frac{N_3 \cdot \Phi_3}{i_1} \text{ yazılır. *}$$

$i_1 = 0$, $i_3 = 0$ yapılırsa,

$$\Phi_2 = \frac{N_2 \cdot i_2}{R_{es}} \text{ bulunur.}$$

$$L_{22} = \frac{N_2 \cdot \Phi_2}{i_2}$$

$$L_{23} = \frac{N_3 \cdot \Phi_3}{i_2}$$

$i_1 = 0$, $i_2 = 0$ yapılırsa

$$\Phi_3 = \frac{N_3 \cdot i_3}{R_{es}}$$

$$L_{33} = \frac{N_3 \cdot \Phi_3}{i_3}$$

SORU: 150 kVA, 20 kV / 400 V, 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.

$$I_{1N} = \frac{S_N}{U_{1N}} = \frac{150000}{20000} = 12,5 \text{ A.}$$

$$I_{2N} = \frac{S_N}{U_{2N}} = \frac{150000}{200} = 625 \text{ A.}$$

$$P_2 = S_N \cdot \cos \phi_2 = 150 \cdot 0,8 = 120 \text{ kW.}$$

$$Q_2 = S_N \cdot \sin \phi_2 = 150 \cdot 0,6 = 90 \text{ kVAR.}$$

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

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

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

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.

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

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

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

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

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

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

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

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.

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

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

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

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

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

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

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.

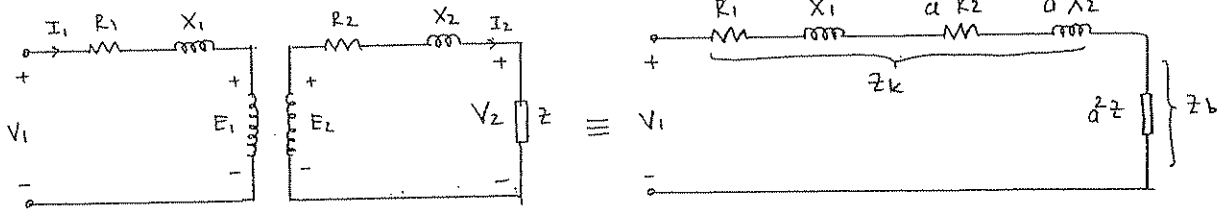
$$\Phi_m = \frac{E_1}{4,44 \cdot f \cdot N_1} = \frac{2300}{4,44 \cdot 50 \cdot 4800} = 2,16 \text{ mWb.}$$

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

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

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 ($Q_2 = ?$)



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

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

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

$$Z_b = a^2 Z = 4 \cdot (10 + j4) = 40 + j16$$

$$Z_1 = Z_k + Z_b = 45,8 + j23,2$$

$$Z_1 = 51,34 \Omega \quad \phi_1 = 26,86^\circ$$

$$a) I_1 = \frac{U_1}{Z_1} = \frac{220}{51,34} = 4,285 \text{ A.}$$

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

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

$$d) z = 10 + j4 \Rightarrow \varphi_2 = 21,8^\circ$$

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

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

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

NOT:

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

$$V_{2x} = V_2 \cdot \cos \varphi_2$$

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

$$V_{2y} = V_2 \cdot \sin \varphi_2$$

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

$$g) P_1 = S_1 \cdot \cos \varphi_1 = 942,7 \cdot \cos 26,86^\circ = 840,995 \text{ W}$$

$$h) \theta_1 = S_1 \cdot \sin \varphi_1 = 942,7 \cdot \sin 26,86^\circ = 425,923 \text{ VAR}$$

veya

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

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

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

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

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

$$j) P_2 = S_2 \cdot \cos \varphi_2 = 791 \cdot \cos 21,8^\circ = 734,432 \text{ W}$$

$$k) \theta_2 = S_2 \cdot \sin \varphi_2 = 791 \cdot \sin 21,8^\circ = 293,752 \text{ VAR}$$

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.

$$a) I_1 = \frac{S_N}{V_{1N}} = \frac{750.000}{2300} = 326,087 \text{ A.}$$

$$I_2 = \frac{S_N}{V_{2N}} = \frac{750.000}{230} = 3260,87 \text{ A.}$$

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

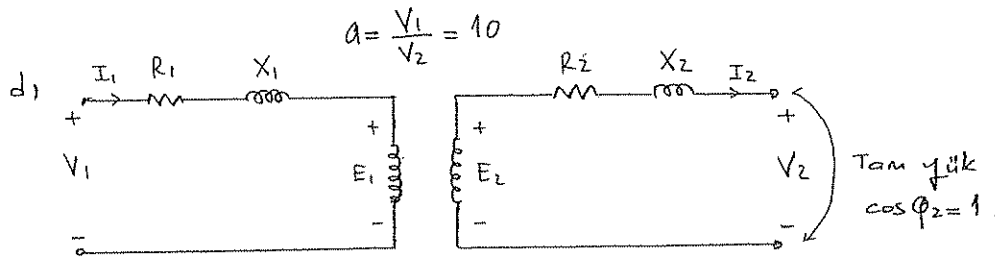
$$z_1 = 0,295 \angle \varphi_1 = 71,63^\circ$$

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

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

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

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



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

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

$$\vec{E}_2 = 233,033 + j9,13$$

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

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

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

Transformatör 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 transformatörde $R_1 = 5,2 \Omega$, $X_1 = 12,5 \Omega$, $R_2 = 0,2 \Omega$, $X_2 = 0,5 \Omega$ 'dir. En basit eşdeğer devrenin direnç, reaktans ve empedansı ile kısa devre güç katsayısını ve faz açısını bulunuz. Transformatör 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, görünür, etkin ve tepkin gücü bulunuz.

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

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

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

$$Z_k = 10,2 + j25$$

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

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

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

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

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

Z_b 'nin birincile indirgenmiş değeri,

$$\left. \begin{array}{l} R_b' = a^2 R_b = 25 \cdot 12 = 300 \Omega \\ X_b' = a^2 X_b = 25 \cdot 9 = 225 \Omega \end{array} \right\} Z_b' = 300 + j225 \Omega$$

$$Z_1 = Z_k + Z_b' = 10,2 + j25 + 300 + j225 = 310,2 + j250 \Omega$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

veya

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

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

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

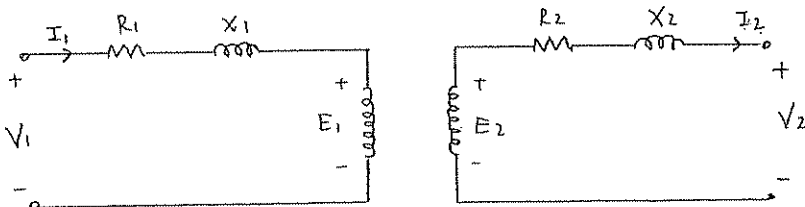
$$Q_2 = S_2 \cdot \sin \phi_2 = 9375 \cdot \sin 36,87^\circ = 5625 \text{ VAR}$$

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

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

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

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



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

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

$$\phi_2 = 30^\circ$$

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

$$\bar{E}_2 = 202,186 + j106$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

SORU: 500 kVA 'lık 3-fazlı bir transformatorün bosta çalışma kayıp gücü 1kW, kısa devre kayıp gücü 7,8 kW 'dır, Güç katsayısı 0,8 endüktif olduğunda tam ve yarı 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 $x = 1$

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

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

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

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

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

$$\text{Kayıp güç : } P_x = P_{FE} + x^2 P_{cu} = P_0 + x^2 P_k \text{ 'dır.}$$

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

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

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

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

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

$\cos \phi_2 = 1$ için;

Azami verim:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

SORU: 250 kVA'lık üç fazlı bir dağıtım transformatoründe, bosta kayıp gücü $P_0 = 930 \text{ W}$, anma kısa devre kayıp gücü $P_{kN} = P_{cu} = 4600 \text{ W}$ tır. 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 $x = 1$

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

$$\text{Kayıp güç} : P_x = P_0 + x^2 \cdot P_k = 930 + 1^2 \cdot 4600 = 5530 \text{ W} = 5,53 \text{ kW}$$

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

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

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

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

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

$$\text{Kayıp güç} : P_x = P_0 + x^2 \cdot P_k = 930 + 0,6^2 \cdot 4600 = 2586 \text{ W} = 2,586 \text{ kW}$$

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

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

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 transformatorlerinden 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 güçte, 232,9 A ikincil akımda kayıpları ve verimi hesaplayınız. Aynı güç katsayısında azami verimi ve azami verimde kayıpları, ikincil akımı, görünür, etkin ve tepkin gücü bulunuz.

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

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

$$\text{Kayıp güç} : P_x = P_0 + x^2 \cdot P_k = 71,2 + 1^2 \cdot 168,4 = 239,6 \text{ MW}$$

$$\text{Giriş gücü} : P_{1x} = P_{2x} + P_x = 48,24 + 239,6 = 287,84 \text{ MW}$$

$$\text{Verim} : \eta = \frac{P_{2x}}{P_{1x}} = \frac{48,24}{287,84} \cdot 100 = \% 16,76$$

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

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

$$\text{Kayıp güç} : P_x = P_0 + x^2 \cdot P_k = 71,2 + 0,5^2 \cdot 168,4 = 116,6 \text{ MW}$$

$$\text{Giriş gücü} : P_{1x} = P_{2x} + P_x = 24,12 + 116,6 = 140,72 \text{ MW}$$

$$\text{Verim} : \eta = \frac{P_{2x}}{P_{1x}} = \frac{24,12}{140,72} \cdot 100 = \% 17,15$$

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

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

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

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

$$\text{Kayıp güç} : P_x = P_0 + x^2 \cdot P_k = 71,2 + 0,663^2 \cdot 168,4 = 116,6 \text{ MW}$$

$$\text{Giriş gücü} : P_{1x} = P_{2x} + P_x = 32 + 116,6 = 148,6 \text{ MW}$$

$$\text{Verim} : \eta = \frac{P_{2x}}{P_{1x}} = \frac{32}{148,6} \cdot 100 = \% 21,54$$

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

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

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

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

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

$$\text{Kayıp güç} : P_x = P_0 + x^2 \cdot P_k = 71,2 + 0,85^2 \cdot 168,4 = 192,869 \text{ MW}$$

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

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

$$\text{Azami verim} : \cos \varphi_2 = 0,8 \text{ ve } X_M$$

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

$$\text{Çıkış gücü} : P_{2x} = X \cdot S_N \cdot \cos \varphi_2 = 0,65 \cdot 60,3 \cdot 0,8 = 31,356 \text{ MW}$$

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

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

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

Azami koşullarda;

$$\text{Yük akımı} : I_{2A} = X \cdot I_{2N} = 0,65 \cdot 274 = 178,1 \text{ A.}$$

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

$$\text{Etkin güç} : P_{2A} = S_{2A} \cdot \cos \varphi_2 = 39,195 \cdot 0,8 = 31,356 \text{ MW}$$

$$\text{Tepkin güç} : Q_{2A} = S_{2A} \cdot \sin \varphi_2 = 39,195 \cdot 0,6 = 23,517 \text{ MVAR.}$$

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

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

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

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

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

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

İletken kesiti: ?

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

Çıkış gücü: $P_{2x} = x \cdot S_N \cdot \cos \phi_2 = 1 \cdot 125 \cdot 0,8 = 100 \text{ kW}$

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: $\eta = \frac{P_{2x}}{P_{1x}} = \frac{100}{102,1} \cdot 100 = 97,94\%$

Azami verim: $\cos \phi_2 = 0,8$

Yükleme oranı: $x_M = \sqrt{\frac{P_0}{P_k}} = \sqrt{\frac{600}{1500}} = 0,632$

Çıkış gücü: $P_{2x} = x \cdot S_N \cdot \cos \phi_2 = 0,632 \cdot 125 \cdot 0,8 = 63,2 \text{ kW}$

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: $\eta = \frac{P_{2x}}{P_{1x}} = \frac{63,2}{64,4} \cdot 100 = 98,14\%$

Azami verimde,

Görünür güç: $S_{2A} = x \cdot S_N = 0,632 \cdot 125 = 79 \text{ kVA}$

Etkin güç: $P_{2A} = S_{2A} \cdot \cos \phi_2 = 79 \cdot 0,8 = 63,2 \text{ kW}$

Tepkin güç: $Q_{2A} = S_{2A} \cdot \sin \phi_2 = 79 \cdot 0,6 = 47,4 \text{ kVAR}$

$$I_{1N} = \frac{S_N}{U_{1N}} = \frac{125}{2} = 62,5 \text{ A}$$

$$I_{2N} = \frac{S_N}{U_{2N}} = \frac{125}{0,44} = 284,1 \text{ A}$$

Bosta çalışma akımı: $I_{10} = i_0 \cdot I_{1N} = 2,5\% \cdot 62,5 = 1,5625 \text{ A}$

Bosta amper-sarm: $F_{10} = N_1 \cdot I_{10} = 182 \cdot 1,5625 = 284,375 \text{ Amper sarm}$

veya

$$F_{10} = i_0 \cdot F_{1N} \text{ dir.}$$

$$F_{1N} = N_1 \cdot I_{1N} = 182 \cdot 62,5 = 11375 \text{ Amper-sarım.}$$

$$F_{2N} = N_2 \cdot I_{2N} = 40 \cdot 284,1 = 11364 \text{ Amper-sarım.}$$

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 tr. 0,85 indüktanslı güç katsayısı ile yarı yüklemde verimi, en büyük verimin elde edildiği yükleme oranını ve en büyük verimi bulunuz.

Yarı 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,

$$\text{Yükleme oranı : } x_m = \sqrt{\frac{P_0}{P_k}} = \sqrt{\frac{465}{1580}} = 0,542$$

$$\text{Çıkış gücü : } P_{2x} = x \cdot S_N \cdot \cos \phi_2 = 0,542 \cdot 660 \cdot 0,85 = 304,062 \text{ MW}$$

$$\text{Kayıp güç : } P_k = P_0 = 465 \text{ kW} \quad P_x = 2P_0 = 0,93 \text{ MW}$$

$$\text{Giriş gücü : } P_{1x} = P_{2x} + P_x = 304,062 + 0,93 = 304,992 \text{ MW}$$

$$\text{Verim : } \eta = \frac{P_{2x}}{P_{1x}} = \frac{304,062}{304,992} \cdot \%100 = \%99,695$$

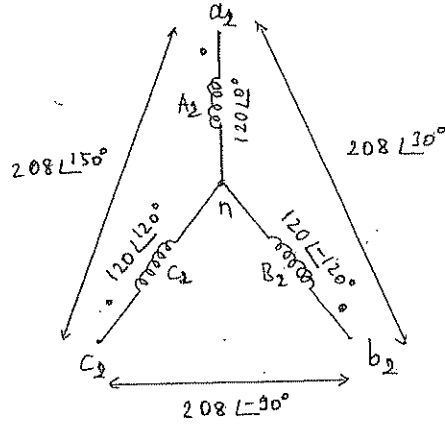
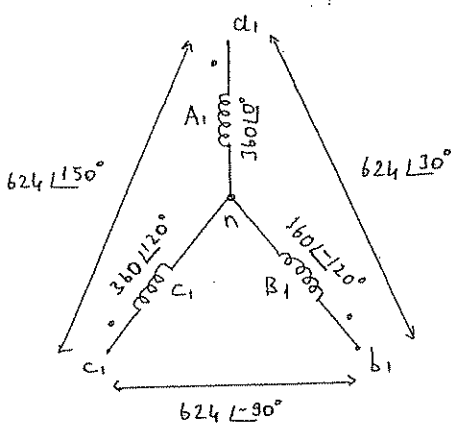
SORU: 720 VA, 360/120 V' luk üç tane tek fazlı transformator birleştirilerek bir tane 3- fazlı transformator elde edilmiştir. Her bir transformatorün parametreleri, $R_1 = 18,9 \Omega$, $X_1 = 21,6 \Omega$, $R_2 = 2,1 \Omega$, $X_2 = 2,4 \Omega$, $R_{FE} = 8,64 k\Omega$ ve $X_m = 6,84 k\Omega$ dur. Buna 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.

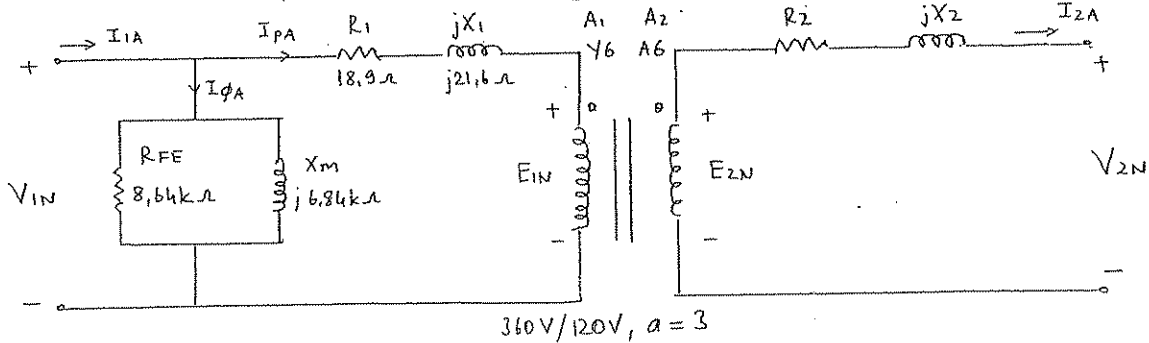
a) Y-Y bağlantı durumunda,

$$\text{Görünür güç} = S_{3\phi} = 3 \cdot 720 = 2160 \text{ VA} = 2,16 \text{ kVA.}$$

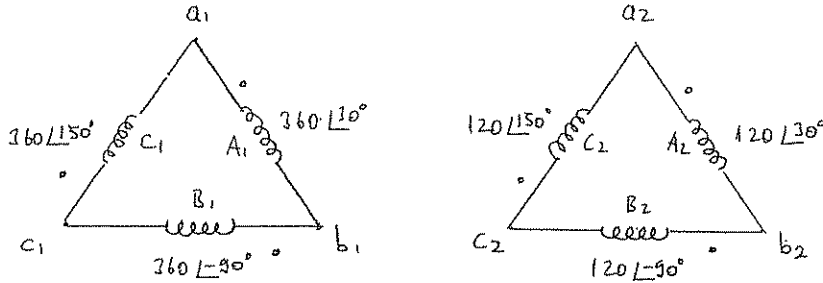


$$a = \frac{N_1}{N_2}, 2,16 \text{ kVA}, 624/208 \text{ V}, Y/Y$$

Tek bir transformator için eşdeğer devre; (örneğin A fazına ilişkin)



b) Δ - Δ bağlantı durumunda,



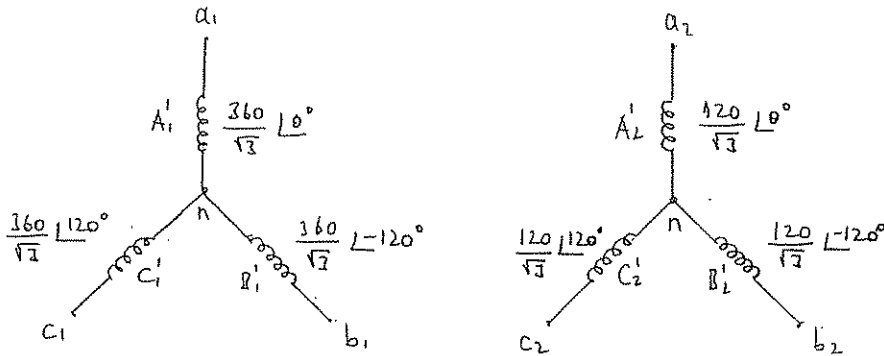
Δ - Δ bağlantıda nötr hattı olmadığından faz-faz arası gerilimi sargı uçlarındaki gerilime esittir. Böylece Δ - Δ bağlanan üç fazlı transformatör şu şekilde tanımlarız:

$$a = \frac{N_1}{N_2}, 2,16 \text{ kVA}, 360/120 \text{ V}, \Delta/\Delta$$

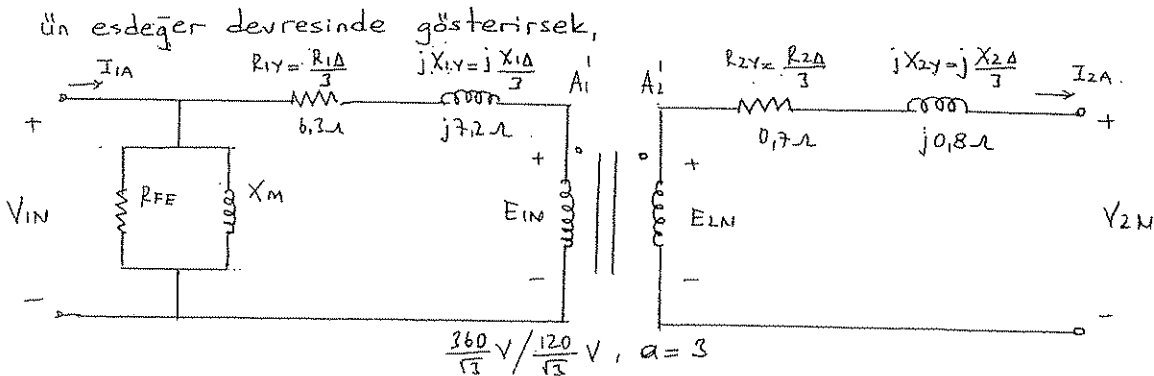
Böyle Δ - Δ bağlı transformatörü Y - Y bağlantıya çevirirsek, yani $\Delta \rightarrow Y$ dönüşümü yaparsak,

$$Z_Y = \frac{Z_{\Delta}}{3} \quad V_{FN} = \frac{V_{FF}}{\sqrt{3}} \quad \begin{array}{l} \Delta \rightarrow Y \text{ açılar } 30^\circ \text{ artar} \\ Y \rightarrow \Delta \text{ açılar } 30^\circ \text{ azalır.} \end{array}$$

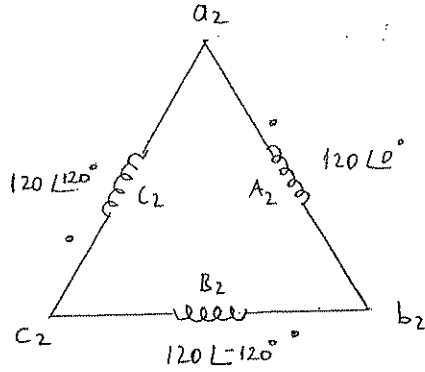
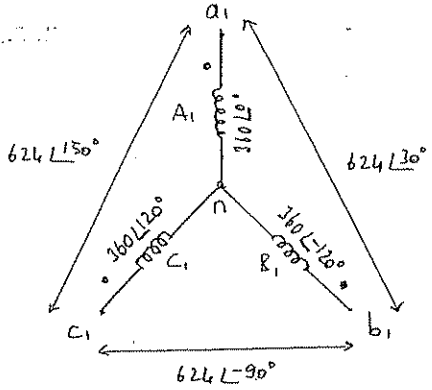
Buna göre;



$\Delta \rightarrow Y$ dönüşümünde empedansların değişimini tek bir transformatörün eşdeğer devresinde gösterirsek,



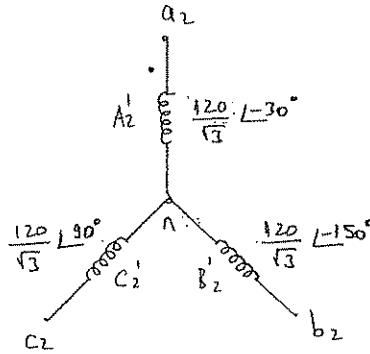
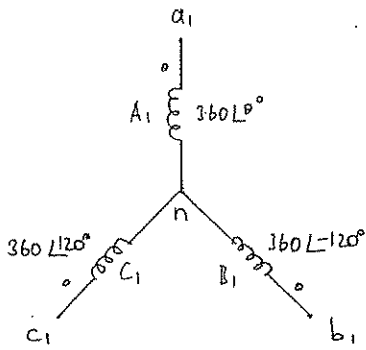
c) Y-Δ bağlantı durumunda,



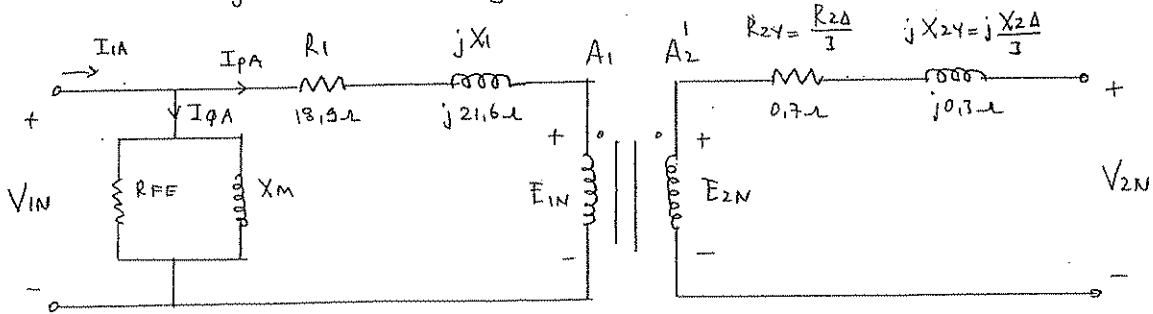
Bu durumda üç fazlı transformatör şu şekilde tanımlanır:

$$a_1 = \sqrt{3} \cdot \frac{N_1}{N_2}, \quad 2,16 \text{ kVA}, \quad 624/120 \text{ V}, \quad Y/\Delta$$

Bu şekilde Y-Δ bağlı transformatörü Y-Y bağlantıya çevirirsek;



Y-Δ → Y-Y dönüşümünde empedansların değişimini tek bir transformatörün eşdeğer devresinde gösterirsek;

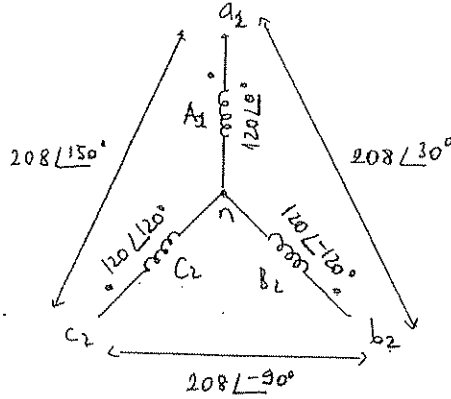
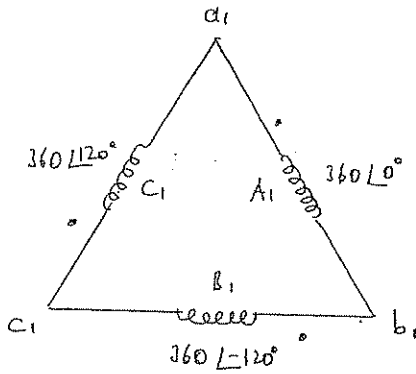


$$360 \text{ V} / \frac{120}{\sqrt{3}} \text{ V}, \quad a = 5,196$$

$$E_{1N} = a \cdot E_{2N} \angle +30^\circ$$

$$I_{1A} = \frac{1}{a} I_{2N} \angle +30^\circ$$

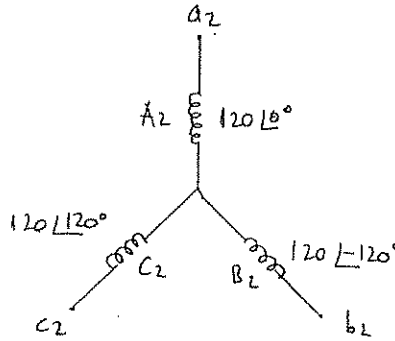
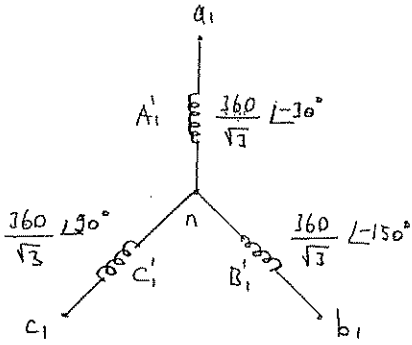
Δ -Y bağlantı durumunda,



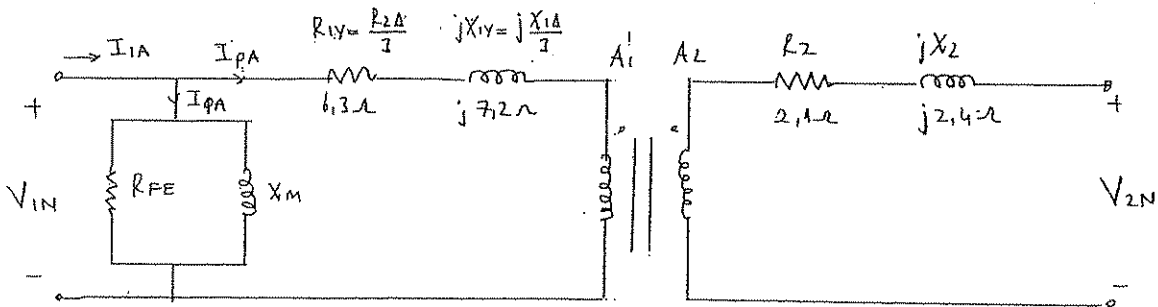
Bu durumda üç fazlı transformatör şu şekilde tanımlanır:

$$a = \frac{N_1}{\sqrt{3} N_2}, \quad 2,16 \text{ kVA}, \quad 360/208 \text{ V}, \quad \Delta/Y$$

Böyle Δ -Y transformatörün Y-Y bağlantıya çevirirsek;



Δ -Y \rightarrow Y-Y dönüşümünde empedansların değişimini tek bir transformatörün eşdeğer devresinde gösterirsek,



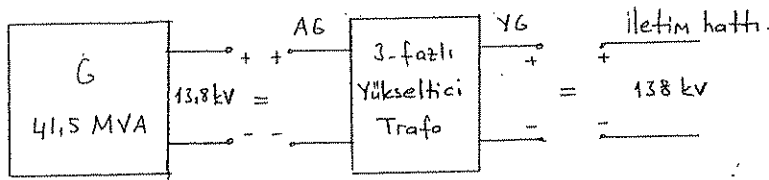
$$\frac{360}{\sqrt{3}} \text{ V} / 120 \text{ V}, \quad a = 1,772$$

$$E_{1N} = a \cdot E_{2N} \angle -30^\circ$$

$$I_{pA} = \frac{1}{a} \cdot I_{2A} \angle -30^\circ$$

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.

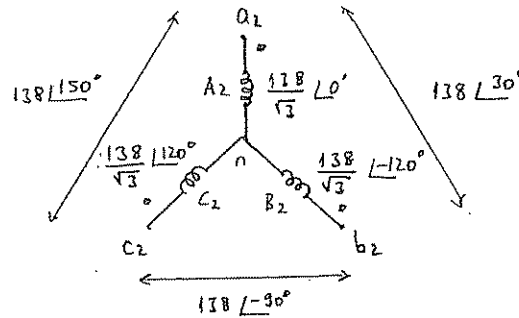
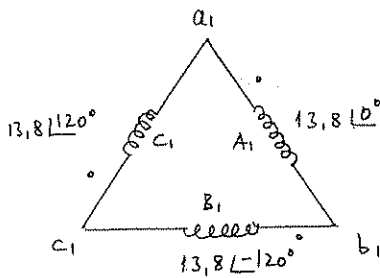
- Alt gerilim sargıları Δ , üst gerilim sargıları Y .
- Alt gerilim sargıları Y , üst gerilim sargıları Δ .
- Alt gerilim sargıları Y , üst gerilim sargıları Y .
- Alt gerilim sargıları Δ , üst gerilim sargıları Δ .



Tek fazlı transformatör için tüm bağlantılarda görünür güç:

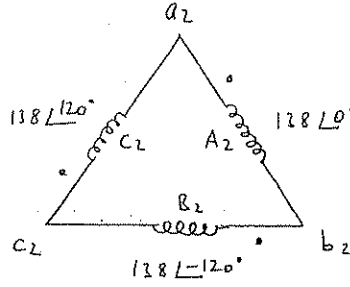
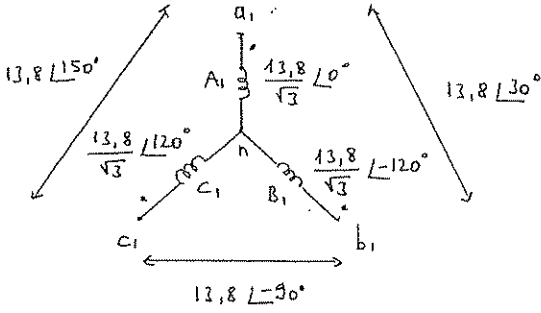
$$S_{\phi} = \frac{41,5}{3} = 13,833 \text{ MVA. 'dır.}$$

a) $\Delta - Y$ bağlantı durumunda,



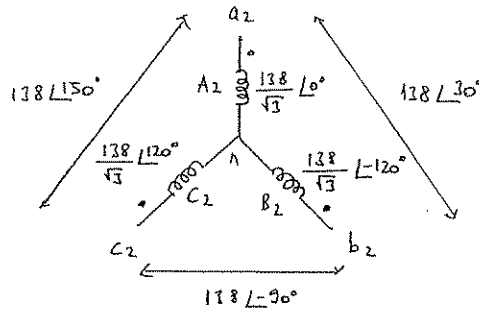
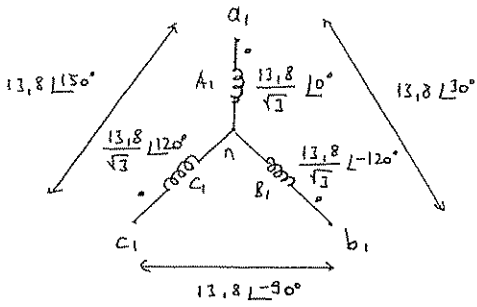
	AG	YG
Faz gerilimi :	13,8 kV	79,67 kV
Hat gerilimi :	13,8 kV	138 kV
Faz akımı :	1002,4 A	173,62 A
Hat akımı :	1736,2 A	173,62 A

b) Y-Δ bağlantı durumunda,



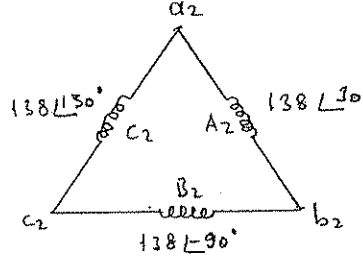
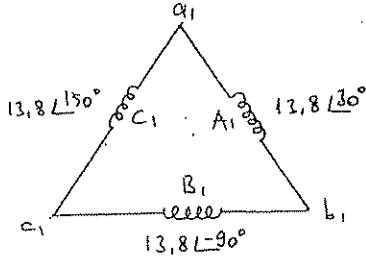
	<u>A6</u>	<u>Y6</u>
Faz gerilimi :	7,967 kV	138 kV
Hat gerilimi :	13,8 kV	138 kV
Faz akımı :	1736,2 A	100,2 A
Hat akımı :	1736,2 A	173,6 A

c) Y-Y bağlantı durumunda,



	<u>A6</u>	<u>Y6</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

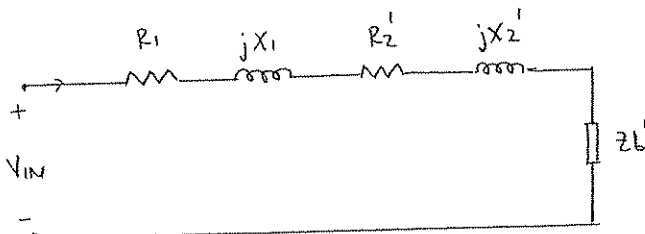
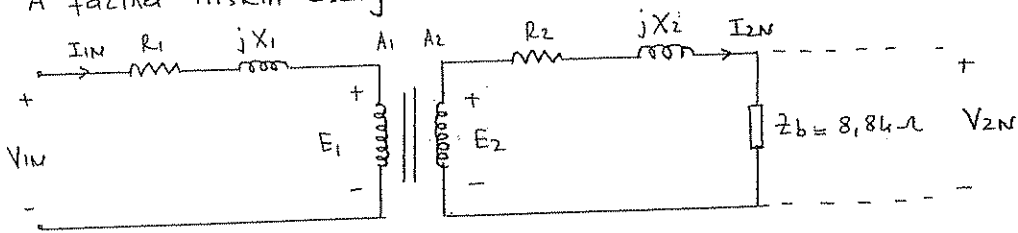
d) Δ - Δ bağlantı durumunda,



	AG	YG
Faz gerilimi :	13,8 kV	138 kV
Hat gerilimi :	13,8 kV	138 kV
Faz akımı :	1002,4 A	100,2 A
Hat akımı :	1726,2 A	172,62 A

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 esdeğer devre:



$$a = \frac{10}{0,525} = 19,0476$$

$$a^2 = 362,812$$

$$R_{1k} = R_1 + a^2 R_2 = 43,2 + 362,812 \cdot 0,12 = 86,7 \Omega$$

$$X_{1k} = X_1 + a^2 X_2 = 46,9 + 362,812 \cdot 0,125 = 92,3 \Omega$$

$$Z_b = 8,84 \Omega, \cos \phi_2 = 0,8$$

$$R_b = Z_b \cdot \cos \phi_2 = 8,84 \cdot 0,8 = 7,072 \Omega$$

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

$$X_b = Z_b \cdot \sin \phi_2 = 8,84 \cdot 0,6 = 5,304 \Omega$$

$$X_b' = a^2 \cdot X_b = 362,812 \cdot 5,304 = 1924,3 \Omega$$

$$Z_1 = Z_b' + Z_{1k} = 2565,8 + j1924,3 + 86,7 + j92,3$$

$$Z_1 = 3332 \Omega, \phi_1 = 37,2^\circ$$

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

$$I_1 = \frac{U_1}{Z_1} = \frac{5774}{3332} = 1,733 \text{ A}$$

$$I_2 = a \cdot I_1 = 19,0476 \cdot 1,733 = 33 \text{ A}$$

$$U_2 = Z_b \cdot I_2 = 8,84 \cdot 33 = 291,7 \text{ V}$$

$$U_{2h} = \sqrt{3} \cdot U_2 = \sqrt{3} \cdot 291,7 = 505 \text{ V}$$

$$Z_2 = Z_b + Z_{2r} = 7,072 + j5,304 + 0,12 + j0,125 = 7,192 + j5,429$$

$$Z_2 = 9,011 \Omega$$

$$E_2 = Z_2 \cdot I_2 = 9,011 \cdot 33 = 297,4 \text{ V}$$

$$E_1 = a \cdot E_2 = 19,0476 \cdot 297,4 = 5664 \text{ V}$$

$$S_1 = \sqrt{3} \cdot U_{1h} \cdot I_{1h} = \sqrt{3} \cdot 10 \cdot 1,733 = 30 \text{ kVA}$$

$$P_1 = S_1 \cdot \cos \phi_1 = 30 \cdot \cos 37,2^\circ = 23,886 \text{ kW}$$

$$Q_1 = S_1 \cdot \sin \phi_1 = 30 \cdot \sin 37,2^\circ = 18,178 \text{ kVAR}$$

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

$$I_2 = \frac{S_2}{V_2} \cdot \% = \frac{23000}{230} \cdot 0,75 = 75 \text{ A}$$

$$\cos \phi_2 = 0,866 \Rightarrow \phi = 30^\circ \text{ ileri fazda olduğundan } I_2 = 75 \angle 30^\circ \text{ A}$$

$$\text{Çevirme oranı} = a = \frac{V_{1N}}{V_{2N}} = \frac{2300}{230} = 10$$

$$\text{Birincil akım} = I_1 = \frac{1}{a} \cdot I_2 = 7,5 \angle 30^\circ \text{ A}$$

İkincil sargı empedansı $Z_2 = R_2 + jX_2 = 0,04 + j0,12$ olduğuna göre;

$$E_2 = Z_2 \cdot I_2 + V_2 = (0,04 + j0,12) \cdot (75 \angle 30^\circ) + 230$$

$$E_2 = 228,287 \angle 2,33^\circ \text{ V}$$

Birincil sargıda endüklenen gerilim;

$$E_1 = a \cdot E_2 = 2282,87 \angle 2,33^\circ \text{ V}$$

$$V_1 = E_1 + Z_1 \cdot I_1 = 2282,87 \angle 2,33^\circ + (4 + j12) \cdot (7,5 \angle 30^\circ)$$

$$V_1 = 2269,578 \angle 4,7^\circ \text{ V}$$

$$\text{Giriş gücü: } P_{in} = \text{Re} [V_1 \cdot I_1^*], \quad I_1^* = 7,5 \angle -30^\circ$$

$$= \text{Re} [2269,578 \angle 4,7^\circ \cdot 7,5 \angle -30^\circ]$$

$$= 2269,578 \cdot 7,5 \cdot \cos -25,3^\circ = 15389,14 \text{ W}$$

$$\text{Çıkış gücü: } P_o = \text{Re} [V_2 \cdot I_2^*], \quad I_2^* = 75 \angle -30^\circ$$

$$= \text{Re} [230 \cdot 75 \angle -30^\circ]$$

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

$$\text{Verim: } \eta = \frac{P_o}{P_{in}} = \frac{14938,94}{15389,14} \cdot 100 = \%97,1$$

SORU: 3-fazlı bir transformatörün bosta ve kısa devre çalışma deneylerinde aşağıdaki değerler bulunmaktadır.

$$\text{Bosta çalışma: } U_1 = 220V, I_{10} = 23A, P_0 = 500W, U_2 = 3000V$$

$$\text{Kısa devre: } U_k = 19,3V, I_{1k} = 150A, P_k = 1250W$$

a) Primer tarafından görünen kısa devre dirençlerini bulunuz.

b) Bosta çalışmadaki gerilim düşümleri gözetildiğinde sınımlar arasındaki oran ne kadardır?

c) R_2 ve X_2 'yi hesaplayınız.

d) Sekonder taraftan görünen kısa devre dirençlerini bulunuz.

$$a) P_k = U_k \cdot I_k \cdot \cos \phi_k$$

$$\cos \phi_k = \frac{P_k}{U_k \cdot I_k} = \frac{1250}{19,3 \cdot 150} = 0,432, \quad \sin \phi_k = 0,902$$

$$Z_k = \frac{U_k}{I_k} = \frac{19,3}{150} = 0,1287 \Omega$$

$$\left. \begin{aligned} R_k &= Z_k \cdot \cos \phi_k = 0,1287 \cdot 0,432 = 0,0556 \Omega \\ X_k &= Z_k \cdot \sin \phi_k = 0,1287 \cdot 0,902 = 0,116 \Omega \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{giris ve çıkış} \\ \text{paylaştırılacak} \end{array}$$

$$R_1 = R_2' = 0,5 R_k = 0,02775 \Omega$$

$$X_1 = X_2' = 0,5 X_k = 0,058 \Omega$$

$$b) E_1 = V_1 - I_{10} \cdot X_1 = 220 - 23 \cdot 0,058 = 218,67 V$$

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{E_2}{E_1} = \frac{3000}{218,67} = 13,7$$

$$c) R_2 = R_2' \cdot \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2 = 0,02775 \cdot 13,7^2 = 5,2 \Omega$$

$$X_2 = X_2' \cdot \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2 = 0,058 \cdot 13,7^2 = 10,9 \Omega$$

$$d_1 R_k = R_2 + R_1' = R_2 + R_1 \cdot \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2 = 5,2 + 0,02775 \cdot 13,7^2 = 10,4 \Omega$$

$$X_k = X_2 + X_1' = X_2 + X_1 \cdot \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2 = 10,9 + 0,058 \cdot 13,7^2 = 21,8 \Omega$$

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 reaktif güçleri bulunuz.

$$P_k = \sqrt{3} \cdot U_k \cdot I_k \cdot \cos \phi_k$$

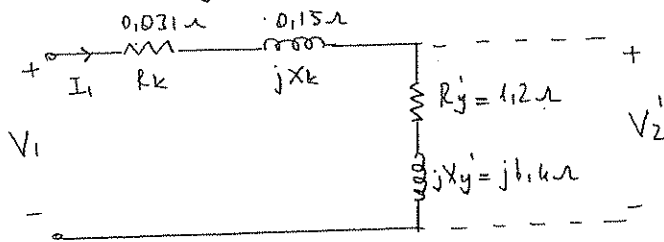
$$\cos \phi_k = \frac{P_k}{\sqrt{3} \cdot U_k \cdot I_k} = \frac{335}{\sqrt{3} \cdot 16 \cdot 60} = 0,20147, \quad \sin \phi_k = 0,97949$$

$$Z_k = \frac{U_k}{\sqrt{3} \cdot I_k} = \frac{16}{\sqrt{3} \cdot 60} = 0,15396 \Omega$$

$$R_k = Z_k \cdot \cos \phi_k = 0,15396 \cdot 0,20147 = 0,031 \Omega$$

$$X_k = Z_k \cdot \sin \phi_k = 0,15396 \cdot 0,97949 = 0,15 \Omega$$

Yükü eşdeğer 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:

$$Z_T = (0,031 + 1,2) + j(0,15 + 6,4) = 1,231 + j6,5 = 6,665 \angle 79,36^\circ \Omega$$

$$\text{Primer akımı: } I_1 = \frac{U_1}{\sqrt{3} Z_T} = \frac{220}{\sqrt{3} \cdot 6,665} = 19,057 \text{ A.}$$

$$\text{Sekonder akımı: } I_2 = a I_1 = 2 \cdot 19,057 = 38,114 \text{ A.}$$

$$\phi_1 = 79,36^\circ$$

$$\cos \phi_1 = 0,1847, \sin \phi_1 = 0,9828$$

$$\phi_2 = 79,38^\circ$$

$$\cos \phi_2 = 0,1843, \sin \phi_2 = 0,9829$$

$$S_1 = \sqrt{3} \cdot U_{1h} \cdot I_{1h} = \sqrt{3} \cdot 220 \cdot 19,057 = 7261,69 \text{ VA.}$$

$$P_1 = S_1 \cdot \cos \phi_1 = 7261,69 \cdot 0,1847 = 1341,23 \text{ W}$$

$$Q_1 = S_1 \cdot \sin \phi_1 = 7261,69 \cdot 0,9828 = 7136,79 \text{ VAR.}$$

$$S_2 = \sqrt{3} \cdot U_{2h} \cdot I_{2h} = \sqrt{3} \cdot 110 \cdot 38,114 = 7261,69 \text{ VA.}$$

$$P_2 = S_2 \cdot \cos \phi_2 = 7261,69 \cdot 0,1843 = 1338,33 \text{ W}$$

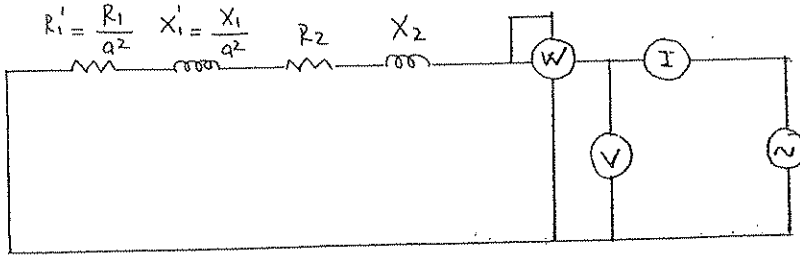
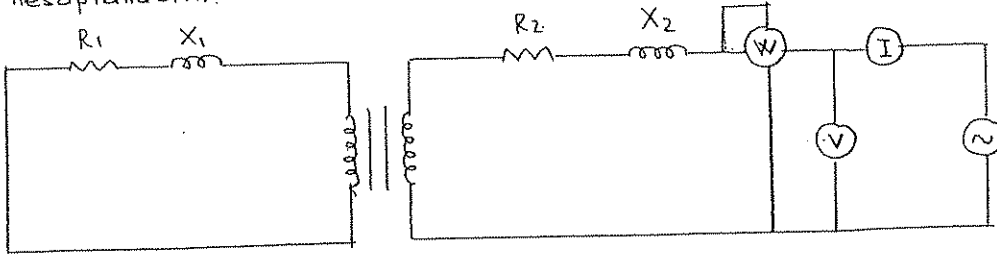
$$Q_2 = S_2 \cdot \sin \phi_2 = 7261,69 \cdot 0,9829 = 7137,52 \text{ VAR.}$$

SORU!

Tek Fazlı Transformator:

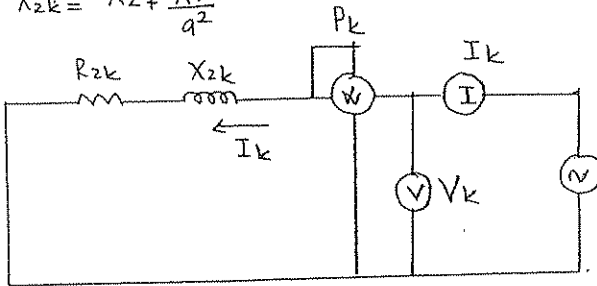
Açık devre deneyi:

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



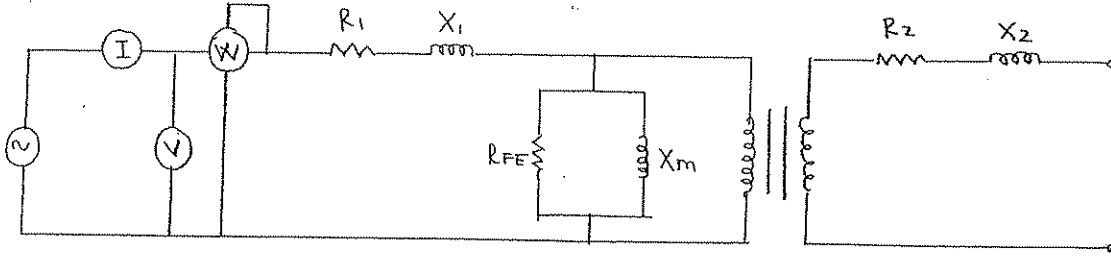
$$R_{2k} = R_2 + \frac{R_1}{a^2}$$

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

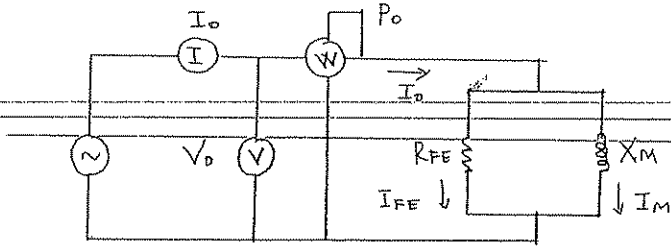


$$\left. \begin{aligned} R_{2k} &= \frac{P_k}{I_k^2} \\ Z_{2k} &= \frac{V_k}{I_k} \end{aligned} \right\} X_{2k} = \sqrt{Z_{2k}^2 - R_{2k}^2}$$

Bosta çalışma (açık devre) deneyi:



Bosta çalışma deneyinde R_{FE} ve X_M parametreleri hesaplanabilir. Birincil empedansı magnetik empedansa oranla ihmal edilebilir. R_1 - r_1 empedansı ihmal edersek;



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

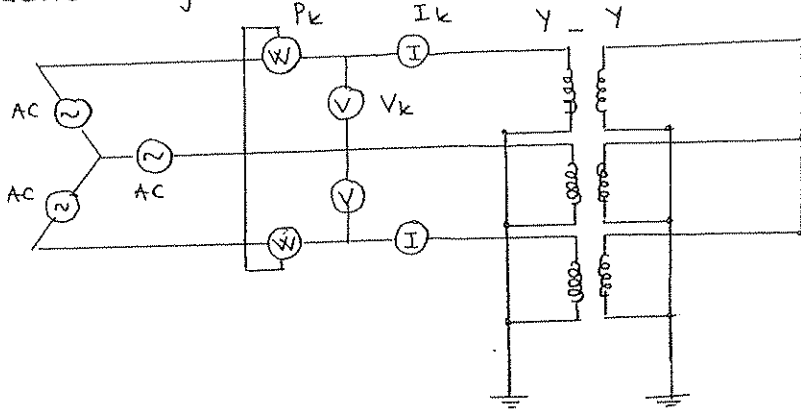
$$S_0 = V_0 \cdot I_0$$

$$Q_0 = \sqrt{S_0^2 - P_0^2}$$

$$X_M = \frac{V_0^2}{Q_0}$$

Üç Fazlı Transformator:

Kısa devre deneyi:



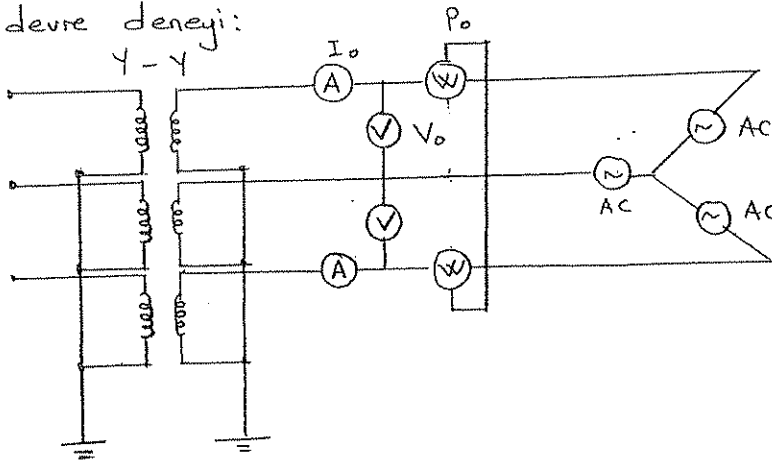
V_k : hat gerilimi

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:

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

2012

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

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

b) Transformator bosta çalışırken $U_0 = 240V$, $I_0 = 1,5A$, $P_0 = 60W$ bulunuyor. $\cos \phi_2 = 0,9$ 'da nominal akımında endüktif çalışması halinde transformatorün demir, bakır kayıpları ile verimini hesap ediniz.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Soru: 2300/230 V'lık bir fazlı 500 kVA gücünde bir transformatörün 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,

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

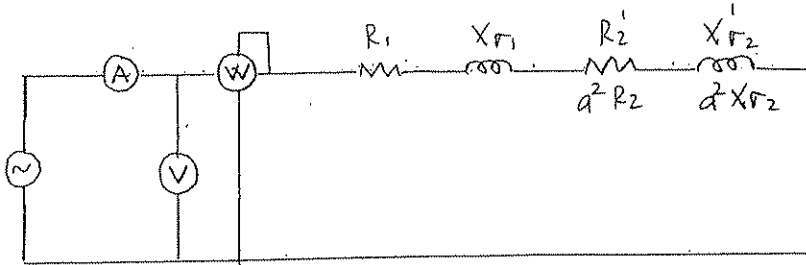
$$E_2 = 222,4 \text{ V}$$

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

a) Primer sargı direnci R_1 ve primer sargı reaktansı X_{r1} 'i,

b) Sekonder sargı direnci R_2 ve sekonder sargı reaktansı X_{r2} 'yi,

c) Nominal akımında $\cos \phi_2 = 0,7$ endüktif yük hali için E_2 emk'ini hesap ediniz.



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\vec{E}_2 = 162,436 + j166,289$$

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

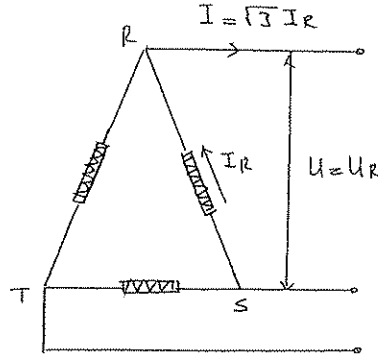
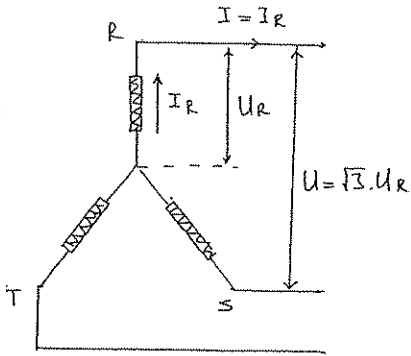
SORU: 2300/230 V 'luk, 60 kVA gücünde üç fazlı bir transformatörün bağlama şekli λ/Δ 'dir.

a) Transformatörün sekonderine bağlanmış olan yük, transformatörün her fazından 100 A çekmekte olup $\cos\phi_2 = 0.7$ endüktiftir. Bu yükün transformatörden çektiği aktif ve reaktif gücü hesaplayınız.

b) Transformatör a sıkkındaki 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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

SORU: 160 kVA gücünde, 6300/400 V 'luk λ/λ bağlı 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.

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

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

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

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

$$R_k = \frac{P_{k\phi}}{I_k^2} = \frac{2350}{3 \cdot 14,66^2} = 3,645 \Omega$$

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

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

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

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

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

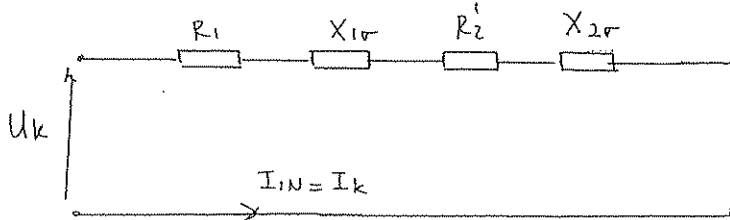
SORU: 600 kVA gücünde 15000 / 400 V luk, Δ / Δ bağlı üç fazlı

bir transformatorün boşa çalışma kayıpları $P_0 = 4 \text{ kW}$, primenden anma akımı gelecek 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. ($R_1 = R_2'$, $X_{1r} = X_{2r}'$ alınacaktır.)

b) Nominal yükündeki bağıl kısa devre gerilimini hesaplayınız.

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



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

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

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

$$I_k = I_{IN} = \frac{S \varphi}{\frac{U_{IN}}{\sqrt{3}}} = \frac{600000 \cdot \sqrt{3}}{3 \cdot 15000} = 23,09 \text{ A.}$$

$$R_k = \frac{P_{k\varphi}}{I_k^2} = \frac{8000}{3 \cdot 23,09^2} = 5 \text{ } \Omega$$

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

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

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

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

$$R_1 = 0,5 \cdot R_k = 2,5 \text{ } \Omega$$

$$X_1 = 0,5 X_k = 7,07 \text{ } \Omega$$

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

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

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

$$c) u_\psi = u_R \cdot \cos \varphi + u_X \cdot \sin \varphi$$

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

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

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

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

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

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

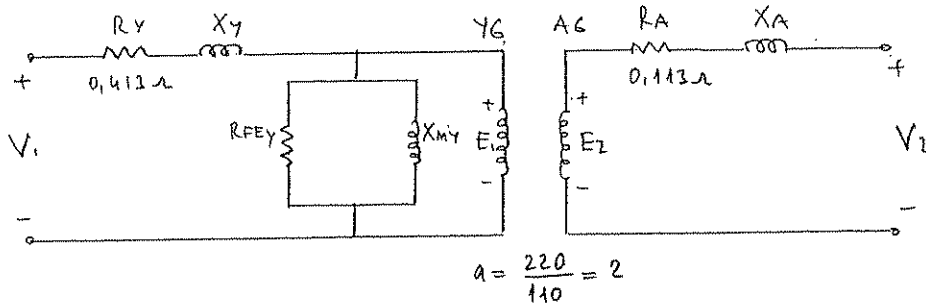
$$\eta = \frac{S \cdot \cos \varphi_2}{S \cdot \cos \varphi_2 + P_{FE} + P_{Cu}} \% 100 = \frac{600 \cdot 10^3 \cdot 0,8}{600 \cdot 10^3 \cdot 0,8 + 8000 + 4000} \% 100$$

$$= \% 97,56.$$

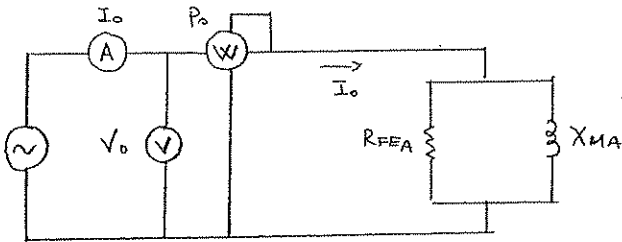
SORU 1,5 kVA, 220V/110V, 50Hz'lik tek fazlı transformator üzerinde yapılan ölçümlerden AG sargı direnci 0,113 Ω ve YG sargı direnci 0,413 Ω bulunmuştur. AG sargıların beslenerek yapılan açık devre deneyinde genilim 110V akım 0,4A ve güç girişi 25W okunmuştur. AG sargıların beslenerek yapılan kısa devre deneyinde ise genilim 8,25V akım 13,6A okunmuştur.

a) Transformatorün AG tarafına indirgenmiş eşdeğer devre parametrelerini bulunuz. Bulduğunuz bu değerleri eşdeğer devre üzerinde gösteriniz.

b) Transformator 110V luk 0,8 endüktif güç katsayılı tam yükü beslerken verimi ne kadardır?



Açık devre deneyinde; (AG tarafında)



$$\begin{aligned} V_0 &= 110V \\ I_0 &= 0,4A \\ P_0 &= 25W \end{aligned}$$

$$R_{FEA} = \frac{V_0^2}{P_0} = \frac{110^2}{25} = 484 \Omega$$

$$S_0 = V_0 \cdot I_0 = 110 \cdot 0,4 = 44 \text{ VA}$$

$$G_0 = \sqrt{S_0^2 - P_0^2} = \sqrt{44^2 - 25^2} = 36,208 \text{ VAR}$$

$$X_{MA} = \frac{V_0^2}{G_0} = \frac{110^2}{36,208} = 334,18 \Omega$$

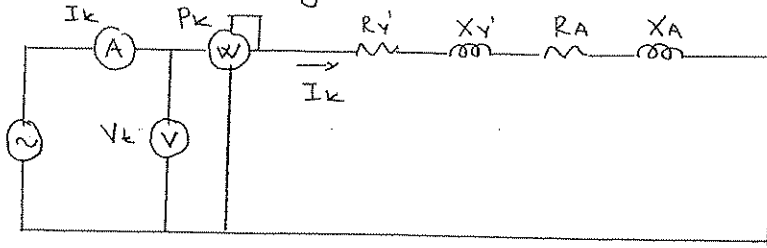
R_{FEA} ve X_{MA} çıkışa indirgenmiş değerlerdir. Giriş tarafındaki yani YG tarafındaki değerler;

$$R_{FEY} = a^2 \cdot R_{FEA}$$

$$X_{MY} = a^2 \cdot X_{MA}$$

işlemleri uygulanarak elde edilir.

Kısa devre deneyinde; (AG tarafında)



$$V_k = 8,25 \text{ V}$$

$$I_k = 13,6 \text{ A}$$

$$R_k = R_{Y'} + R_A = \frac{1}{a^2} R_Y + R_A = \frac{1}{4} \cdot 0,413 + 0,113 = 0,21625 \Omega$$

$$Z_k = \frac{V_k}{I_k} = \frac{8,25}{13,6} = 0,607 \Omega$$

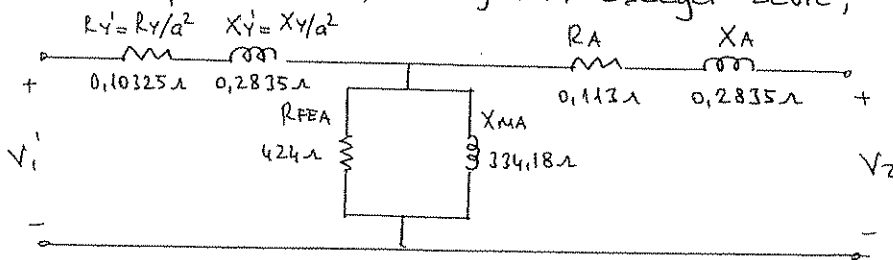
$$X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2} = \sqrt{0,607^2 - 0,21625^2} = 0,567 \Omega$$

$$X_k = X_{Y'} + X_A = \frac{1}{a^2} X_Y + X_A$$

$$X_A = 0,5 \cdot X_k = 0,2835 \Omega$$

$$X_Y = 0,5 \cdot a^2 \cdot X_k = 1,134 \Omega$$

AG tarafına (çıkışa) indirgenmiş eşdeğer devre;



$$b) P_0 = 25 \text{ W} = P_{FE}$$

$$P_k = I_k^2 \cdot R_k = 13,6^2 \cdot 0,21625 = 40 \text{ W} = P_{cu}$$

$$\text{Tam yükte verim} : \cos \phi_2 = 0,8, \quad x = 1$$

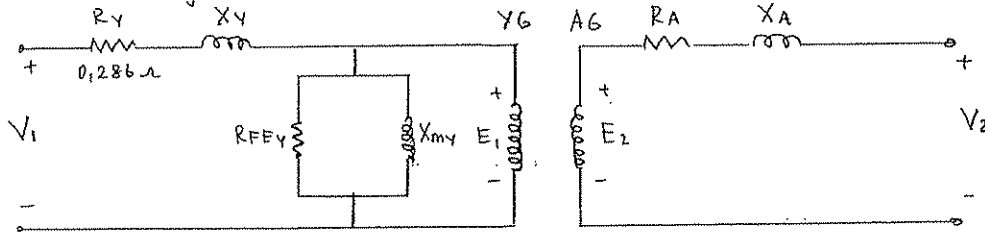
$$\text{Çıkış gücü} : P_{2x} = X \cdot S_N \cdot \cos \phi_2 = 1,15 \cdot 0,8 = 1,2 \text{ kW}$$

$$\text{Kayıp güç} : P_x = P_0 + x^2 P_k = 25 + 1^2 \cdot 40 = 65 \text{ W}$$

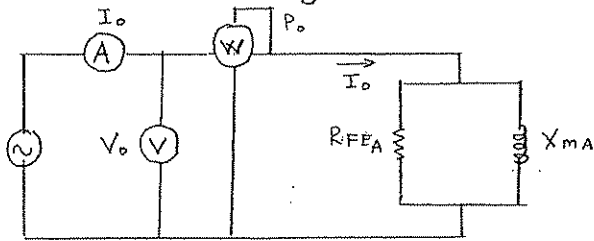
$$\text{Giriş gücü} : P_{1x} = P_x + P_{2x} = 0,065 + 1,2 = 1,265 \text{ kW}$$

$$\text{Verim} : \eta = \frac{P_{2x}}{P_{1x}} = \frac{1,2}{1,265} \cdot 100 = 94,86 \%$$

SORU: 2,2 kV / 220V, 100 kVA lık tek fazlı bir transformatorün alt gerilim yanında yapılan bosta çalışma deneyinde 220V, 18A, 980W ve üst gerilim yanında yapılan kısa devre deneyinde 70V, 45,5A, 1050W ölçülüyor. Birincil sargı direnci 0,286 ohm olduğuna göre, transformatorün T esdeğer devresindeki parametreleri belirleyiniz.



Bosta çalışma deneyinde; (A6 tarafında)



$$\begin{aligned} V_0 &= 220V \\ I_0 &= 18A \\ P_0 &= 980W \end{aligned}$$

$$R_{FEA} = \frac{V_0^2}{P_0} = \frac{220^2}{980} = 49,388 \Omega$$

$$S_0 = V_0 \cdot I_0 = 220 \cdot 18 = 3960 \text{ VA}$$

$$Q_0 = \sqrt{S_0^2 - P_0^2} = \sqrt{3960^2 - 980^2} = 3836,82 \text{ VAR}$$

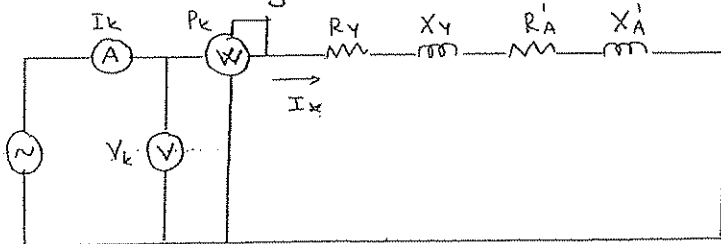
$$X_{MA} = \frac{V_0^2}{Q_0} = \frac{220^2}{3836,82} = 12,615 \Omega$$

R_{FEA} ve X_{MA} 'yı birincile indirgersek,

$$R_{FEY} = a^2 \cdot R_{FEA} = 4938,8 \Omega \quad a = \frac{2200}{220} = 10$$

$$X_{MY} = a^2 \cdot X_{MA} = 1261,5 \Omega$$

Kısa devre deneyinde; (YG tarafında)



$$\begin{aligned} V_k &= 70V \\ I_k &= 45,5A \\ P_k &= 1050W \end{aligned}$$

$$R_k = \frac{P_k}{I_k^2} = \frac{1050}{45,5^2} = 0,507 \Omega$$

$$R_k = R_Y + R_A' = R_Y + a^2 R_A$$

$$0,507 = 0,286 + 100 \cdot R_A$$

$$R_A = 2,212 \text{ m}\Omega$$

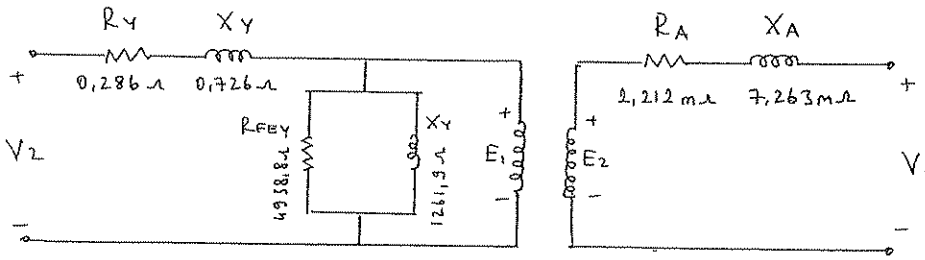
$$Z_k = \frac{V_k}{I_k} = \frac{70}{45,5} = 1,538 \Omega$$

$$X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2} = \sqrt{1,538^2 - 0,507^2} = 1,452 \Omega$$

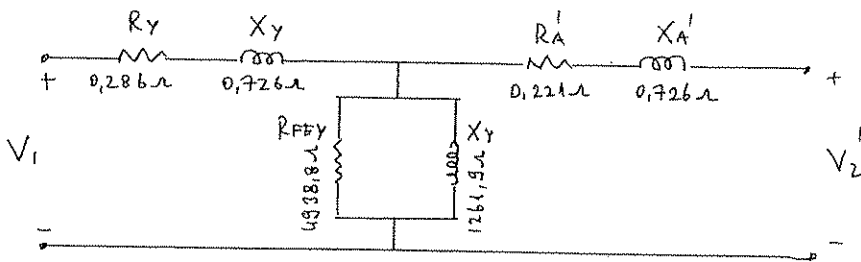
$$X_k = X_Y + X_A' = X_Y + a^2 X_A$$

$$X_Y = 0,5 \cdot X_k = 0,726 \Omega$$

$$X_A = \frac{0,5 \cdot X_k}{a^2} = 7,263 \text{ m}\Omega$$



Girise indirgenmis T esdeger devresi:



SORU! Anma değerleri 1000 kVA, 11/3,3 kV olan 3-fazlı transformatorün birincil sargılar yıldız bağlı, ikincil sargılar üçgen bağlıdır.

$$X_m = \infty, R_{FE} = \infty$$

$$\text{Birincil sargının direnci} = 0,375 \text{ ohm/faz}$$

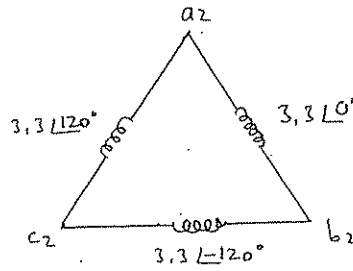
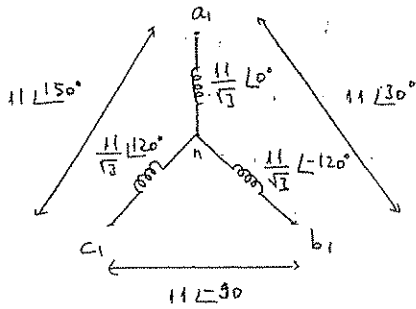
$$\text{ikincil sargının direnci} = 0,095 \text{ ohm/faz}$$

$$\text{Birincil sargının kacak reaktansı} = 3,5 \text{ ohm/faz}$$

$$\text{ikincil sargının kacak reaktansı} = 2 \text{ ohm/faz}$$

İkincil sargı kısıdaverre edildiğinde, ikincil sargıdan tam yük akımının akması için, birincil sargılara uygulanması gereken fazarası genlimi ve bu kosullardaki giriş gücünü bulunuz.

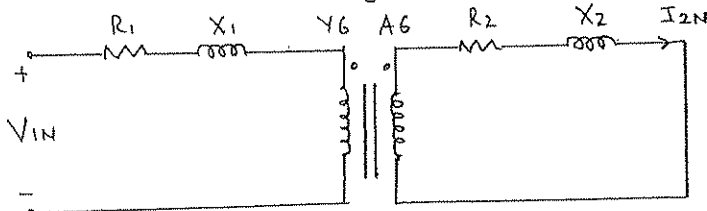
Y/Δ bağlantı durumunda,



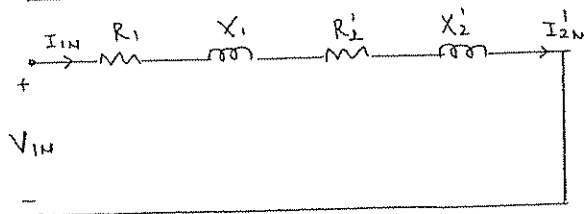
$$S_N = \sqrt{3} \cdot V_{2N} \cdot I_{2N} \Rightarrow I_{2N} = \frac{S_N}{\sqrt{3} \cdot V_{2N}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 3,3} = 174,955 \text{ A}$$

$$I_{2N} = 174,955 \text{ akımının akması için } V_{1N} = ?$$

A fazına ilişkin eşdeğer devre,



$$a = \frac{11}{3,3}$$



$$I_{2N}' = I_{1N} = \frac{1}{a} \cdot I_{2N}$$

$$I_{1N} = \frac{3,3}{11} \cdot 174,955 = 52,4865 \text{ A.}$$

$$R_2' = a^2 \cdot R_2 = \left(\frac{11}{3,3}\right)^2 \cdot 0,095 = 1,055 \Omega$$

$$X_2' = a^2 \cdot X_2 = \left(\frac{11}{3,3}\right)^2 \cdot 2 = 22,22 \Omega$$

$$Z_T = (0,375 + 1,055) + j(9,5 + 22,22) = 1,43 + j 31,72$$

$$Z_T = 31,75 \angle 87,42^\circ \Omega$$

$$V_{IN} = \sqrt{3} \cdot Z_T \cdot I_{IN} = \sqrt{3} \cdot 31,75 \cdot 52,4865 = 2886,37 \angle 87,42^\circ \text{ V}$$

$$P_{IN} = \sqrt{3} \cdot V_{IN} \cdot I_{IN} \cdot \cos \varphi_1 = \sqrt{3} \cdot 2886,37 \cdot 52,4865 \cdot \cos 87,42^\circ$$

$$P_{IN} = 11,811 \text{ kW}$$

SORU: Üç fazlı, 600 kVA, 11000 / 660V, Y/Δ transformatör üzerinde yapılan deney sonuçları aşağıdadır:

Bosta çalışma deneyi: 660V, 16A, 4,8 kW (AG sargılarından)

Kısa devre deneyi: 500V, 30A, 8,2 kW (YG sargılarından)

Birincil sargıya indirgenmiş eşdeğer devre parametrelerini bulunuz. Ayrıca, ikincil sargı uçlarına tam yük akımı 0,8 endüktif güç katsayısında ceken bir yük bağlantısında akımları hesaplayınız.

Tek faz için kullanılacak değerler:

$$S_{\varphi_3} = 600 \text{ kVA} \Rightarrow S_{\varphi} = \frac{600}{3} \text{ kVA}$$

$$V_0 = 660 \text{ V}$$

$$V_k = \frac{500}{\sqrt{3}}$$

$$I_0 = \frac{16}{\sqrt{3}} \text{ A}$$

$$I_k = 30 \text{ A}$$

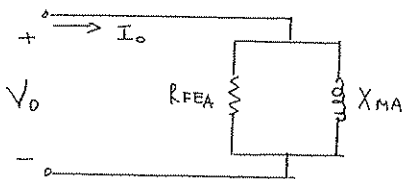
$$a = \frac{11000}{660}$$

$$P_0 = \frac{4,8}{3} = 1,6 \text{ kW}$$

$$P_k = \frac{8,2}{3} \text{ kW}$$

Bosta çalışma deneyinde, (AG tarafında)

A fazına ilişkin devre;



$$R_{FEA} = \frac{V_0^2}{P_0} = \frac{660^2}{1600} = 272,25 \Omega$$

$$S_0 = V_0 \cdot I_0 = 660 \cdot \frac{16}{\sqrt{3}} = 14,78 \text{ kVA}$$

$$B_0 = \sqrt{S_0^2 - P_0^2} = \sqrt{14,78^2 - 1,6^2} = 14,693 \text{ kVAR}$$

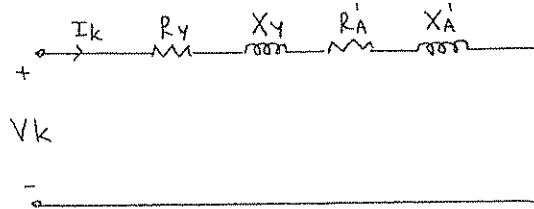
$$X_{MA} = \frac{V_0^2}{B_0} = \frac{660^2}{14693} = 29,647 \Omega$$

$$R_{FEY} = a^2 \cdot R_{FEA} = 16,67^2 \cdot 272,25 = 75,625 \text{ k}\Omega$$

$$X_{MY} = a^2 \cdot X_{MA} = 16,67^2 \cdot 29,647 = 8,235 \text{ k}\Omega$$

Kısa devre deneyinde, (YG tarafında)

A fazına ilişkin devre;



$$R_k = \frac{P_k}{I_k^2} = \frac{8200}{3,30^2} = 3,037 \Omega$$

$$Z_k = \frac{V_k}{I_k} = \frac{500}{\sqrt{3} \cdot 3,30} = 9,622 \Omega$$

$$X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2} = \sqrt{9,622^2 - 3,037^2} = 9,131 \Omega$$

$$R_k = R_Y + a^2 \cdot R_A$$

$$X_k = X_Y + a^2 \cdot X_A$$

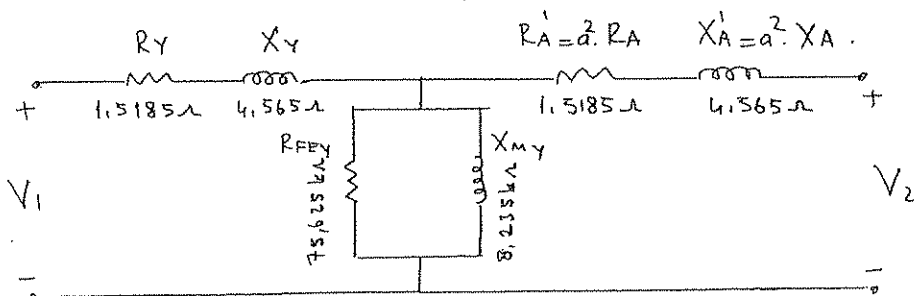
$$R_Y = 0,5 \cdot R_k = 1,5185 \Omega$$

$$X_Y = 0,5 \cdot X_k = 4,565 \Omega$$

$$R_A = \frac{0,5 \cdot R_k}{a^2} = 5,464 \text{ m}\Omega$$

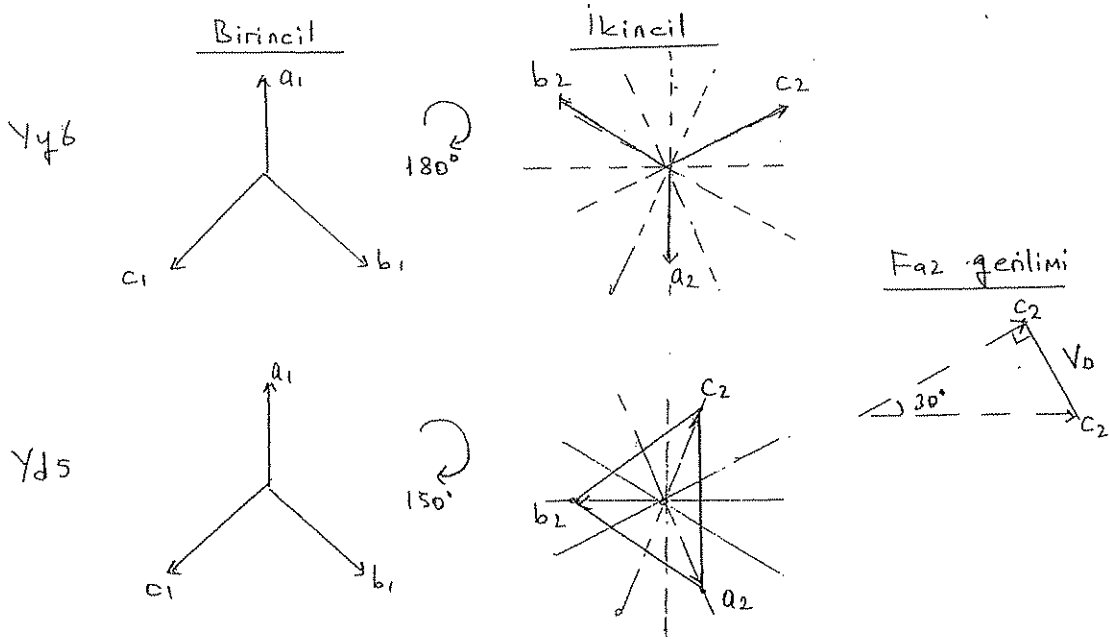
$$X_A = \frac{0,5 \cdot X_k}{a^2} = 0,0164 \Omega$$

Birincile indirgenmiş eşdeğer devre;

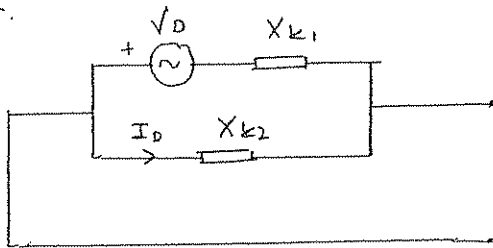


SORU: $Yy6$ tipinde bir transformator ile $Yd5$ tipinden bir transformator paralel bağlanmıştır. Dolanım akımını hesaplayınız.

NOT: Yukarıdaki bağlama paralel bağlama koşullarını sağlamamaktadır. Yanlışlıkla yapılmış bir bağlanadır. Bu soru böyle bir yanlışa ne kadar ciddi sonuçlar doğuracağını göstermek için tasarlanmıştır.



Yukarıdaki her iki transformator için birincil ve ikincil gerilimler arasındaki fark gerilimi işaret edilmiştir. Bu fark $30^\circ \times (6-5) = 30^\circ$ 'dir. Buna göre paralel bağlı transformatorlerin ikincil yanında $V_0 = \frac{V_1}{\sqrt{3}} \cdot \sin 30^\circ = \frac{V_1}{2\sqrt{3}}$ gibi bir gerilim farkı vardır. Transformatorlerin reaktansları $X_{k1} = X_{k2}$ ise omik dirençleri ve manyatizlenme akımı gözardı edilerek çevirme oranı $a=1$ varsayılarak aşağıdaki indirgenmiş sema elde olunur.



Fark gerilimleri nedeniyle paralel bağlı transformatörler arasında,

$$I_d = \frac{\frac{V_n}{2\sqrt{3}}}{X_{k1} + X_{k2}}$$

gibi olanım akımı akar. Transformatörlerin reaktansları $X_{k1} = X_{k2} = X_k$ ise ayrıca transformatörlerin anma akımları eşit olup I_n ile gösterilirse,

$$\frac{I_d}{I_n} = \frac{\frac{V_n}{2\sqrt{3} I_n}}{X_k}$$

elde olunur. Transformatörün anma empedansları,

$$Z_n = \frac{V_n}{\sqrt{3} I_n}$$

olduğundan,

$$\frac{I_d}{I_n} = \frac{1}{4} \frac{Z_n}{X_k}$$

bulunur. Genellikle transformatörlerde,

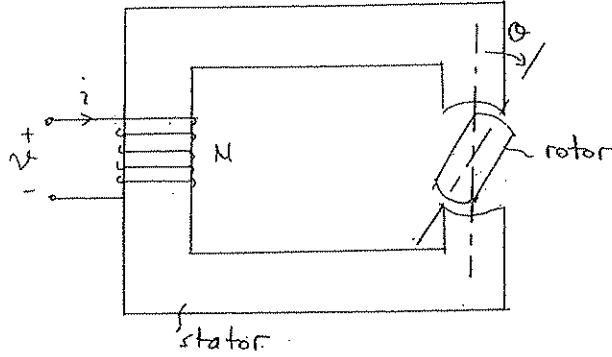
$$\frac{X_k}{Z_n} = \%5$$

meritebesindedir.

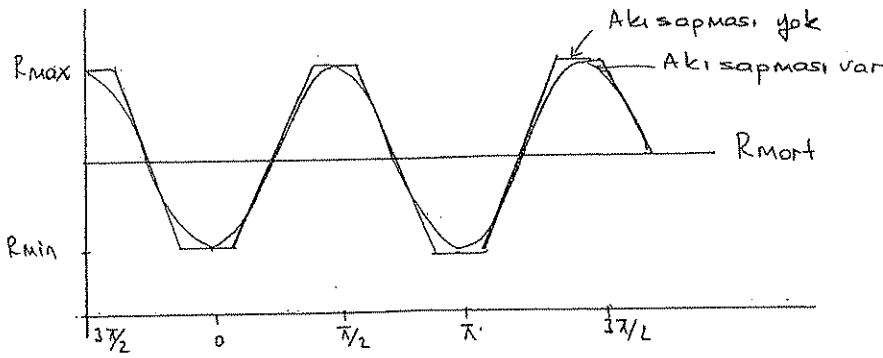
$$\frac{I_d}{I_n} = 5$$

elde olunur. Bir devreye henüz bir akım vermeden 1. transformatörlerden 2. transformatöre doğru anma akımının 5 katı yani kısa devre akımı meritebesinde bir akım geçer.

Rotoru Sargısız Relüktans Motoru:



Rotor konumu değıştikçe, relüktansı θ açısına bağlı olarak değışecektir. $\theta=0$ konumunda, relüktansı minimum olacaktır. $\theta=\pi/2$ rad olduğunda relüktans maksimum olacaktır. $\theta=\pi$ rad olduğunda, relüktans tekrar minimum olacak ve bir periyot tamamlanmış olacaktır. Rotor döndürülmeye devam edilirse, relüktansta periyodu π rad olan periyodik bir fonksiyon olacaktır.



Şekildende gönlüdüğü gibi relüktans θ ya bağlı olarak değışmektedir. Periyodik fonksiyonu Fourier serisine açılırsa;

$$f(\theta) = \frac{A_0}{2} \sum_{k=1}^{\infty} (A_k \cos k\theta + B_k \sin k\theta)$$

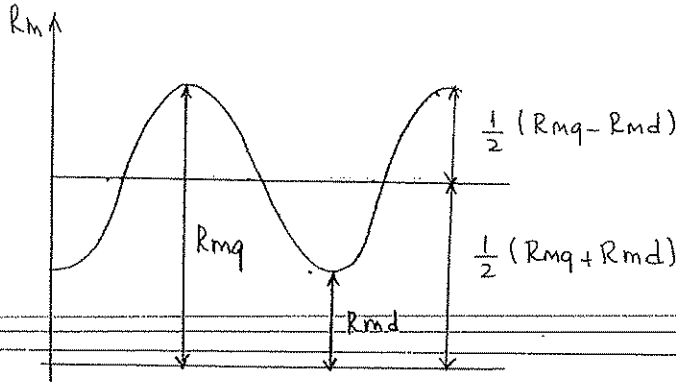
Ancak, şekil dikkatli olarak incelenirse, şekilde bir simetrisinin olduğu gönlür. Bu simetri nedeniyle, Fourier serisine açılımda yalnızca $k=2, 4, 6, 8$ gibi terimler görülecektir.

0 halde relüktans fonksiyonunun Fourier serisine açılımı,

$$R_m(\theta) = R_{m0} + A \cdot \cos 2\theta \pm B \cdot \cos 4\theta \pm \dots$$

şeklinde olur. Yukarıda relüktans fonksiyonu için yapılan tartışmaların benzeri endüktans fonksiyonu için de yapılabilir.

$$L(\theta) = L_0 + C \cdot \cos 2\theta \pm D \cdot \cos 4\theta \pm \dots$$



Relüktans fonksiyonunun seri açılımında, bir sabit, bir de değişken olmak üzere, iki terim ele alalım, diğer terimleri gözardı edelim. Relüktansın $\theta = 0$ iken değerine R_{md} ve $\theta = \frac{\pi}{2}$ rad iken değerine R_{mq} diyelim. $R_{mq} > R_{md}$ olacağı açıktır. Bu koşullar altında relüktans fonksiyonunun konuyla değişimini yazalım.

$$R_m = \frac{1}{2} (R_{mq} + R_{md}) - \frac{1}{2} (R_{mq} - R_{md}) \cdot \cos 2\theta$$

Uygulamada, genellikle relüktans motorunun sargılarının direnci çok küçük yapılır. Bu nedenle sargıda endüklenen gerilim, sargıya uygulanan gerilime eşit alınabilir.

$$e = v \approx \sqrt{2} v \cdot \cos \omega t = N \frac{d\Phi}{dt}$$

$$\Phi = \Phi_m \cdot \sin \omega t$$

Moment ifadesini yazalım,

$$M_e = - \frac{\Phi^2}{2} \frac{dR_m}{d\theta}$$

Akı ve relüktansın bilinen ifadelerini, moment denkleminde yerine yazalım,

$$M_e = -\frac{1}{4} \Phi_m^2 (R_{mq} - R_{md}) (\sin 2\theta - \sin 2\theta \sin 2\omega t)$$

$$M_e = -\frac{1}{4} \Phi_m^2 (R_{mq} - R_{md}) \left\{ \sin 2\theta - \frac{1}{2} [\sin 2(\theta + \omega t) + \sin 2(\theta - \omega t)] \right\}$$

Rotor konumunun $\theta = \omega_m t + \delta$ olduğunu anımsayalım.

$$M_e = -\frac{1}{4} \Phi_m^2 (R_{mq} - R_{md}) \left[\sin 2(\omega_m t + \delta) - \frac{1}{2} \left\{ \sin 2[(\omega_m + \omega)t + \delta] + \sin 2[(\omega_m - \omega)t + \delta] \right\} \right]$$

$\omega_m = \pm \omega$ ise $M_{eort} \neq 0$ 'dir.

$|\omega_m| = |\omega|$ bu koşullarda,

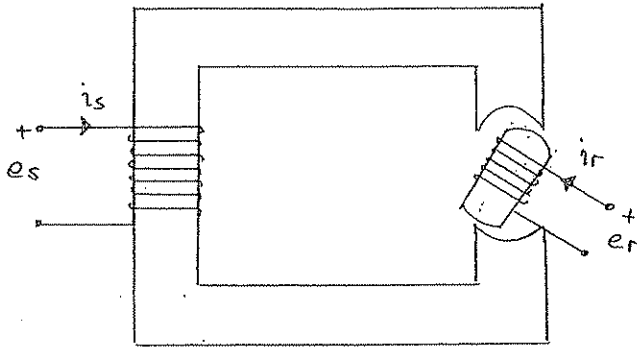
$$M_{eort} = \frac{1}{8} \Phi_m^2 (R_{mq} - R_{md}) \sin 2\delta \text{ olur.}$$

Rotoru Sargılı Relüktans Motoru:

Rotoru sargılı relüktans motorunun rotorundada sargı vardır. Gerek rotorunda, gerekse statorunda iki ayrı bobin bulundurması nedeniyle iki uyarmalı sisteme örnektir. Rotor ve stator sargılarına ilişkin toplam akı, bobinlerin öz ve ortak endüktansları ile bobin akımları cinsinden yazılabilir.

$$\lambda_s = L_{ss} \cdot i_s + L_{sr} \cdot i_r$$

$$\lambda_r = L_{sr} \cdot i_s + L_{rr} \cdot i_r$$



L_{ss} : stator sargısı endüktansı

L_{rr} : rotor sargısı endüktansı

L_{sr} : stator ile rotor arasındaki ortak endüktans.

i_s : stator akımı

i_r : rotor akımı

Motorun magnetik devresinde depo edilen toplam enerji:

$$W = \frac{1}{2} L_{ss} \cdot i_s^2 + \frac{1}{2} L_{rr} \cdot i_r^2 + i_s \cdot i_r \cdot L_{sr}$$

Moment:

$$M_e = \frac{i_s^2}{2} \cdot \frac{dL_{ss}}{d\theta} + \frac{i_r^2}{2} \cdot \frac{dL_{rr}}{d\theta} + i_s \cdot i_r \cdot \frac{dL_{sr}}{d\theta}$$

yazılabilir. Endüktansların konumla değişimi periyodik fonksiyonlar olacaktır. Endüktans fonksiyonlarının Fourier açılımlarının ilk iki teriminin açılımını ele alalım:

$$L_{ss} = L_{s0} + L_{s2} \cos 2\theta$$

$$L_{rr} = L_{r0} + L_{r2} \cos 2\theta$$

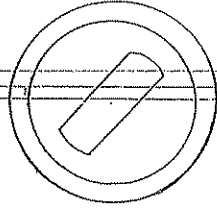
$$L_{sr} = L_{srm} \cos \theta$$

Buna göre moment ifadesi,

$$M_e = - (L_{s2} i_s^2 + L_{r2} i_r^2) \sin 2\theta - L_{srm} i_s i_r \sin \theta$$

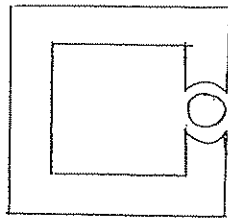
şeklinde olur.

Rotoru sargılı motorun, rotor ve stator magnetik devreleri 4-
kük kutuplu olabileceği gibi, rotor ve statorun her biri veya ikisi
birden yuvarlak kutuplu olabilir.



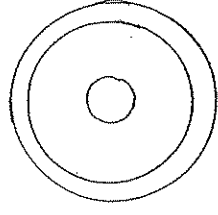
Şekilde yuvarlak statorlu, 4-kük rotorlu, rotoru sargılı relüktans
motoru gösterilmiştir. Bu durumda rotor bobinine ilişkin özendüktans,
rotor konumuna bağlı değildir. ve moment ifadesi,

$$M_e = \frac{i_s^2}{2} \cdot \frac{dL_{ss}}{d\theta} + i_r i_s \cdot \frac{dL_{sr}}{d\theta}$$



Şekilde statoru 4-kük kutuplu, rotoru yuvarlak kutuplu rotoru
sargılı relüktans motoru gösterilmiştir. Bu durumda stator bobininin
özendüktansı, rotor konumundan bağımsızdır. ve moment ifadesi,

$$M_e = \frac{i_r^2}{2} \cdot \frac{dL_{rr}}{d\theta} + i_r i_s \cdot \frac{dL_{sr}}{d\theta}$$



Şekilde yuvarlak rotor ve yuvarlak statorlu, çift uyluklu motor gösterilmiştir. Bu koşullarda, gerek rotor gerekse stator relüktansları rotor konumundan bağımsız olacaktır. Moment ifadesi,

$$M_e = i_s \cdot i_r \cdot \frac{dL_{sr}}{d\theta}$$

SORU: Rotoru sargısız bir relüktans motorunun stator sargısına ilişkin endüktans yaklaşık olarak şu biçimde ifade edilmektedir. $L = 0,01 - 0,03 \cdot \cos 2\theta - 0,02 \cdot \cos 4\theta$ [H], sargıdan 5 A, 50 Hz'lik akım akmakta iken rotor ω_m açısal hızıyla döndürülüyor.

a) Hangi hızlarda makina moment üretebilir?

b) a sıklığında hesaplanan hızlardaki maksimum momenti bulunuz?

c) a sıklığında hesaplanan hızlardaki maksimum güç sıksını bulunuz?

$$M_e = \frac{i^2}{2} \frac{dL}{d\theta} \quad \text{veya} \quad M_e = -\frac{\Phi^2}{2} \frac{dR}{d\theta}$$

$$i(t) = 5\sqrt{2} \cdot \cos 2 \cdot 50 \pi t = 5\sqrt{2} \cdot \cos 100\pi t$$

$$i^2 = 50 \cdot \cos^2 100\pi t$$

$$\boxed{\cos^2 \theta = \frac{1}{2} (1 + \cos 2\theta)}$$

$$i^2 = 25 + 25 \cdot \cos 200\pi t$$

$$\frac{dL}{d\theta} = 0,06 \cdot \sin 2\theta + 0,08 \cdot \sin 4\theta$$

Moment ifadesinde yerine yazılırsa:

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

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

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

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

$$+ 0,5 \cdot [\sin(200\pi t + 4\theta) - \sin(200\pi t - 4\theta)]$$

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

(Burada ω_m : Rotorun yardımcı bir arca yardımıyla yol aldığı ve ω_m sabit açısal hızıyla döndüğünü varsayıyoruz ve δ açısı ise $t=0$ anında magnetik akının maksimumundan geçerken rotorun durum açısıdır.)

$$\begin{aligned}
 M_e = & 0,75 \cdot \sin 2(W_M t + \delta) + \sin 4(W_M t + \delta) + 0,375(200\pi t + 2W_M t + 2\delta) \\
 & - 0,375 \cdot \sin(200\pi t - 2W_M t - 2\delta) + 0,5 \cdot \sin(200\pi t + 4W_M t + 4\delta) \\
 & - 0,5 \sin(200\pi t - 4W_M t - 4\delta)
 \end{aligned}$$

$$\boxed{\sin(-\theta) = -\sin \theta}$$

$$\begin{aligned}
 M_e = & 0,75 \cdot \sin 2(W_M t + \delta) + \sin 4(W_M t + \delta) + 0,375(2(W_M + 100\pi)t + 2\delta) \\
 & + 0,375 \cdot \sin(2(W_M - 100\pi)t + 2\delta) + 0,5 \cdot \sin(4(W_M + 50\pi)t + 4\delta) \\
 & + 0,5 \cdot \sin(4(W_M - 50\pi)t + 4\delta)
 \end{aligned}$$

Momentin ortalama değerinin sıfırdan farklı olduğu kosullar, yani ortalama momentin oluşması için,

$$W_M = \pm 50\pi \text{ rad/s} \text{ ve } W_M = \pm 100\pi \text{ rad/s}$$

olmalıdır.

$$b) W_M = \pm 50\pi \text{ rad/s} \text{ için } M_{e_{ort}} = 0,5 \cdot \sin 4\delta$$

$$M_{e_{ort_{max}}} = 0,5 \text{ N/m.}$$

$$W_M = \pm 100\pi \text{ rad/s} \text{ için } M_{e_{ort}} = 0,375 \cdot \sin 2\delta$$

$$M_{e_{ort_{max}}} = 0,375 \text{ N/m.}$$

$$c) W_M = \pm 50\pi \text{ rad/s} \text{ için } P = W_M \cdot M_{e_{ort_{max}}} = \pm 78,53 \text{ W}$$

$$W_M = \pm 100\pi \text{ rad/s} \text{ için } P = W_M \cdot M_{e_{ort_{max}}} = \pm 117,81 \text{ W}$$

SORU: Rotoru sargılı bir relüktans motorunun endüktansları şöyle verilmiştir. Rotor endüktansı $L_{11} = 0,4 \text{ H}$, stator endüktansı $L_{22} = 0,5 \text{ H}$ ve rotor-stator ortak endüktansı $L_{12} = 0,2 \cos \theta \text{ H}$ 'dir. Burada θ rotor sargı ekseninin, saat dönüşünün ters yönde, stator sargı eksenine ile yaptığı açıdır. Rotor üzerinde bulunan sargılar kısadevre edilmiştir. Stator üzerindeki sargı uçları ise 220 V , 50 Hz lik gerilim kaynağından beslenmektedir. Sargı dirençleri yok varsayılmaktadır. Sistem sürekli durumda çalışmakta ve sinüs biçimli akımlar ve gerilimler söz konusu olmaktadır. $\theta = 60^\circ$ 'dir.

a) Motorun enine kesit şemasını çizin.

b) Rotor ve stator'dan akan sinüs biçimli akımları bulunuz.

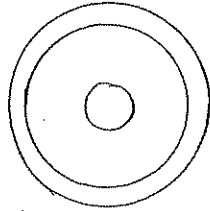
$$(i_1(t) = ?, i_2(t) = ?)$$

c) Rotora etkileyen anlık momentini bulunuz. ($M_e = f(t)$)

d) Rotora etkileyen momentin zamana göre ortalamasını bulunuz. ($M_{e\text{ort}} = ?$)

e) Rotora etkileyen moment hangi yönde etkilmektedir? Yorumlayınız.

a) Gerek rotor gerekse stator endüktansları rotor konumundan bağımsızdır. Yuvarlak rotor ve yuvarlak statorlu çift uyarımlı motor şeması olmalıdır.



$$b) \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1 & 0 \\ 0 & R_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} L_{11} & L_{12} \\ L_{21} & L_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix}$$

= 0 ihmal

$$v_1 = L_{11} \frac{di_1}{dt} + L_{12} \frac{di_2}{dt} \quad v_2 = L_{21} \frac{di_1}{dt} + L_{22} \frac{di_2}{dt}$$

$$v_1(t) = 0$$

$$v_2(t) = 220\sqrt{2} \cdot \sin 100\pi t$$

$$0 = 0,4 \cdot \frac{di_1}{dt} + 0,2 \cdot \cos 60^\circ \cdot \frac{di_2}{dt}$$

$$0 = 0,4 \frac{di_1}{dt} + 0,1 \cdot \frac{di_2}{dt}$$

$$\frac{di_2}{dt} = -4 \cdot \frac{di_1}{dt}$$

$$220\sqrt{2} \cdot \sin 100\pi t = 0,2 \cdot \cos 60^\circ \cdot \frac{di_1}{dt} + 0,5 \cdot \frac{di_2}{dt}$$

$$220\sqrt{2} \cdot \sin 100\pi t = 0,1 \cdot \frac{di_1}{dt} - 2 \cdot \frac{di_1}{dt}$$

$$\frac{di_1}{dt} = -\frac{220\sqrt{2}}{1,9} \sin 100\pi t$$

$$i_1(t) = \frac{220\sqrt{2}}{1,9 \cdot 100\pi} \cdot \cos 100\pi t = 0,521 \cdot \cos 100\pi t \quad (A)$$

$$i_2(t) = -4 \cdot i_1(t) = -2,08 \cdot \cos 100\pi t \quad (A)$$

$$b) M_e = i_1 \cdot i_2 \cdot \frac{dL_{12}}{d\theta}$$

$$M_e = -1,084 \cdot \cos^2 100\pi t \cdot \frac{d}{d\theta} (0,2 \cdot \cos \theta)$$

$$M_e = 0,217 \cdot \sin \theta \cdot \cos^2 100\pi t = 0,187 \cdot \cos^2 100\pi t \quad N \cdot m$$

$$c) M_{e_{ort}} = 0,187 \cdot \left(\frac{1}{2} (1 + \cos 200\pi t) \right)_{ort=0} = 0,0937 \quad N \cdot m$$

d) Motoru hareket ettirecek (döndürecek) şekilde etki etmektedir.

SORU: Rotoru sargılı relüktans motorunda endüktans ifadeleri aşağıdadır. Endüktanslar Henry boyutundadır.

$$L_{rr} = 0,5 + 4 \cdot \sin^2 \theta \quad L_{ss} = 1 + 2 \cdot \sin^2 \theta \quad L_{sr} = 1,5 \cdot \sin \theta$$

Rotor açısal hızı 500 rad/s 'dir.

a) Rotor sargısı açık devre iken, stator sargısından $i_s = 10A$ 'lik akım akarsa, rotor ve stator devresinde endüklenen gerilimleri bulunuz.

b) Rotor sargısından $i_r = 2A$ ve stator sargısından $i_s = 5A$ lik akımlar akmakta iken oluşan momentin ifadesini bulunuz.

c) Rotorun $\theta = 0^\circ$ den $\theta = 90^\circ$ gelmesi ile yapılacak işi bulunuz.

d) Rotorun $\theta = 0^\circ$ den $\theta = 180^\circ$ gelmesi ile yapılacak işi bulunuz.

Rotor sargısından $i_r = 2 \cdot \sin(314t - 90^\circ)$ A ve stator sargısından $i_s = 5A$ lik akım akmakta iken,

e) Moment ifadesini bulunuz.

f) Bu makina bu koşullarda sabit bir hızda dönmeye devam eder mi?

$$a) \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1 & 0 \\ 0 & R_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} L_{11} & L_{12} \\ L_{21} & L_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix} \quad \begin{array}{l} i_s = 10A \\ i_r = 0 A \end{array}$$

$$v_r = i_r \cdot \frac{dL_{rr}}{dt} + i_s \cdot \frac{dL_{sr}}{dt} \quad \text{Rotor konumu: } \theta = \omega_m t + \delta \text{ konursa}$$

$$v_s = i_r \cdot \frac{dL_{sr}}{dt} + i_s \cdot \frac{dL_{ss}}{dt}$$

$$v_r = 10 \cdot \frac{d}{dt} (1,5 \cdot \sin(\omega_m t + \delta)) = 15 \cdot \omega_m \cdot \cos(\omega_m t + \delta)$$

$$v_r = 7500 \cdot \cos \theta \text{ (V)}$$

$$v_s = 10 \cdot \frac{d}{dt} (1 + 2 \cdot \sin^2(\omega_m t + \delta)) = 40 \omega_m \cdot \cos(\omega_m t + \delta) \cdot \sin(\omega_m t + \delta)$$

$$v_s = 10000 \cdot \sin 2\theta \text{ (V)}$$

$$b) M_e = \frac{i_r^2}{2} \cdot \frac{dL_{rr}}{d\theta} + \frac{i_s^2}{2} \cdot \frac{dL_{ss}}{d\theta} + i_r i_s \cdot \frac{dL_{sr}}{d\theta}$$

$$M_e = 2 \cdot \frac{d}{d\theta} (0,5 + 4 \cdot \sin^2 \theta) + \frac{25}{2} \cdot \frac{d}{d\theta} (1 + 2 \cdot \sin^2 \theta) + 10 \cdot \frac{d}{d\theta} (1,5 \cdot \sin \theta)$$

$$M_e = 16 \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta + 50 \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta + 15 \cdot \cos \theta$$

$$M_e = 33 \cdot \sin 2\theta + 15 \cdot \cos \theta \quad (\text{Nm})$$

$$c) W = \int_{\theta_1}^{\theta_2} M_e \cdot d\theta = \int_{\theta_1}^{\theta_2} (33 \sin 2\theta + 15 \cdot \cos \theta) \cdot d\theta \quad \text{veya.}$$

$$W = \int_{\theta_1}^{\theta_2} \left(\frac{i_r^2}{2} \frac{dL_{rr}}{d\theta} + \frac{i_s^2}{2} \frac{dL_{ss}}{d\theta} + i_r i_s \frac{dL_{sr}}{d\theta} \right) \cdot d\theta$$

$$W = \frac{i_r^2}{2} L_{rr} + \frac{i_s^2}{2} L_{ss} + i_r i_s L_{sr} \Big|_{\theta_1}^{\theta_2}$$

$$W = \left(2 \cdot (0,5 + 4 \cdot \sin^2 \theta) + \frac{25}{2} \cdot (1 + 2 \cdot \sin^2 \theta) + 15 \cdot \sin \theta \right) \Big|_{0^\circ}^{90^\circ}$$

$$W = \left(9 + \frac{75}{2} + 15 \right) - \left(1 + \frac{25}{2} + 0 \right) = 48 \text{ J.}$$

$$d) W = \left(2 \cdot (0,5 + 4 \cdot \sin^2 \theta) + \frac{25}{2} (1 + 2 \cdot \sin^2 \theta) + 15 \cdot \sin \theta \right) \Big|_{0^\circ}^{180^\circ}$$

$$W = \left(1 + \frac{25}{2} + 0 \right) - \left(1 + \frac{25}{2} + 0 \right) = 0 \text{ J.}$$

$$e) i_r = 2 \cdot \sin(314t - 90^\circ) \text{ (A)} \quad \text{ve} \quad i_s = 5 \text{ A}$$

$$M_e = 2 \cdot \sin^2(314t - 90^\circ) \cdot \frac{d}{d\theta} (0,5 + 4 \cdot \sin^2 \theta) + \frac{25}{2} \cdot \frac{d}{d\theta} (1 + 2 \cdot \sin^2 \theta)$$

$$+ 10 \cdot \sin(314t - 90^\circ) \cdot \frac{d}{d\theta} (1,5 \cdot \sin \theta)$$

$$M_e = 8 \cdot (1 - \cos(628t - 180^\circ)) \cdot \sin 2\theta + 25 \cdot \sin 2\theta$$

$$+ 15 \cdot \sin(314t - 90^\circ) \cdot \sin \theta$$

$$M_e = 33 \cdot \sin 2\theta - 8 \cdot \cos(628t - 180^\circ) \cdot \sin 2\theta + 15 \cdot \sin(314t - 90^\circ) \cdot \sin \theta$$

$$\theta = \omega t + \delta \quad \text{konursa} \quad \text{ve} \quad \cos a \cdot \sin b = \frac{1}{2} [\sin(a+b) - \sin(a-b)]$$

dönüşümü yapırsa;

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

$$M_e = 33 \cdot \sin 2(\omega_m t + \delta) - 4 \left[\sin(628t - 180^\circ + 2\omega_m t + 2\delta) - \sin(628t - 180^\circ - 2\omega_m t - 2\delta) \right] + \frac{15}{2} \left[\cos(314t - 90^\circ - \omega_m t - \delta) + \cos(314t - 90^\circ + \omega_m t + \delta) \right]$$

$$M_e = 33 \cdot \sin 2(\omega_m t + \delta) - 4 \cdot \sin(2(\omega_m + 314)t + 2\delta - 180^\circ) - 4 \cdot \sin(2(\omega_m - 314)t + 2\delta + 180^\circ) + \frac{15}{2} \cos((\omega_m - 314)t + \delta + 90^\circ) + \frac{15}{2} \cos((\omega_m + 314)t + \delta - 90^\circ)$$

f) $\omega_m = \pm 314 \text{ rad/s}$ ise $M_{e_{ort}} \neq 0$ yani sabit bir hızda döner.

$$\omega_m = 314 \text{ rad/s} \text{ ise } M_{e_{ort}} = -4 \cdot \sin(2\delta + 180^\circ) + \frac{15}{2} \cos(\delta + 90^\circ) \text{ (Nm)}$$

$$\omega_m = -314 \text{ rad/s} \text{ ise } M_{e_{ort}} = -4 \cdot \sin(2\delta - 180^\circ) + \frac{15}{2} \cos(\delta - 90^\circ) \text{ (Nm)}$$

SORU: Rotoru sorgulu relüktans motoruna ilişkin endüktanslar,

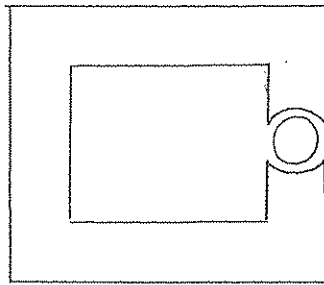
$$L_{rr} = K \cdot (\sin^2 \theta_m + K_1) \quad L_{ss} = K_2 \quad L_{sr} = K_m \cdot \sin \theta_m$$

olarak verilmiştir. Burada K , K_1 , K_2 ve K_m birer değişmezdirler.

a) Motorun şeklini çiziniz.

b) $i_r = I$ ve $i_s = 2I \sin(\theta + \beta)$ akımları rotor ve statordan akmaktadır. β 'nin hangi değeri için oluşacak moment maksimum olur ve bu maksimum momentin değeri nedir? $\theta_m = \omega_m t$ ve $\theta = \omega \cdot t$ olarak alınız.

a) Stator bobininin özendüktansı rotor konumundan bağımsızdır. Statoru çıkık kutuplu, rotoru yuvarlak kutuplu rotoru sorgulu relüktans motorudur.



$$b) M_e = \frac{i_r^2}{2} \frac{dL_{rr}}{d\theta} + i_r i_s \frac{dL_{sr}}{d\theta}$$

$$M_e = \frac{I^2}{2} \frac{d}{d\theta_m} (K(\sin^2 \theta_m + K_1)) + 2I^2 \sin(\theta + \beta) \frac{d}{d\theta_m} (K_m \sin \theta_m)$$

$$M_e = \frac{I^2}{2} 2K \sin \theta_m \cos \theta_m + 2I^2 \sin(\theta + \beta) K_m \cos \theta_m$$

$$M_e = \frac{I^2 K}{2} \sin 2\theta_m + 2I^2 K_m \sin(\theta + \beta) \cos \theta_m$$

$\theta_m = \omega_m t$, $\theta = \omega t$ konursa ve $\sin a \cos b = \frac{1}{2} [\sin(a-b) + \sin(a+b)]$ dđnd-
sđmđ yapılrsa,

$$M_e = \frac{I^2 K}{2} \sin 2\omega_m t + 2I^2 K_m \frac{1}{2} [\sin(\omega t + \beta - \omega_m t) + \sin(\omega t + \beta + \omega_m t)]$$

~~$$M_e = \frac{I^2 K}{2} \sin 2\omega_m t + I^2 K_m \sin((\omega - \omega_m)t + \beta) + I^2 K_m \sin((\omega + \omega_m)t + \beta)$$~~

$\omega_m = \pm \omega$ rad/s için $M_{eort} \neq 0$ 'dır.

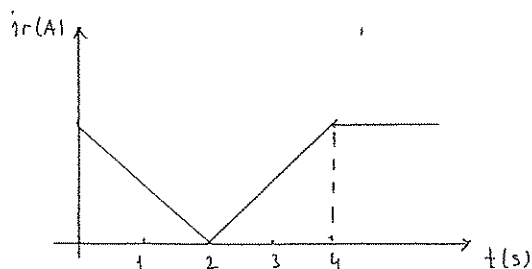
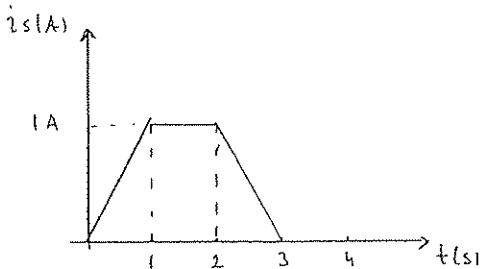
$$\omega_m = \pm \omega \text{ rad/s için } M_{eort} = I^2 K_m \sin \beta$$

M_{eort} maksimum olması için $\beta = n \cdot \frac{\pi}{2}$, $n = 1, 2, 3, \dots$ olmalıdır.

Bu koşullar altında,

$$M_{eortmax} = I^2 K_m \text{ olur.}$$

SORU: Rotoru sargılı relüktans motorunda sargılann endüktansları $L_s = 7 + 3 \cos 4\theta$ [H], $L_r = 2$ [H], $L_{sr} = 2\sqrt{2} \cos \theta$ [H] 'dir. Rotor $\theta = 45^\circ$ olacak biçimde sabit bir konumda tutulmaktadır. Stator ve rotor akımlarının zamana göre değışimleri aşağıda verilmiştir. Sargı dirençleri gözardıedilebilecek kadar küçüktür.



a) Makinanın enine kesit semasını çiziniz.

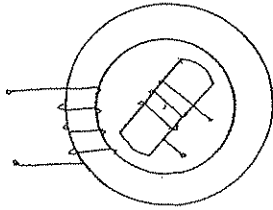
b) Stator sargı geriliminin zamana göre değişim grafiğini çiziniz.

c) Rotor sargı geriliminin zamana göre değişim grafiğini çiziniz.

d) Rotora etkiyen momentin zamana göre değişim grafiğini çiziniz.

a) Rotor özendüktansının değeri rotor konumuna bağlı değildir.

Rotoru çukuk kutuplu, statoru yuvarlak kutuplu rotorlu sargılı relüktans motorudur.



$$\begin{bmatrix} v_r \\ v_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_r & 0 \\ 0 & R_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_r \\ i_s \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} L_{rr} & L_{rs} \\ L_{sr} & L_{ss} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_r \\ i_s \end{bmatrix}$$

$$v_r = L_{rr} \frac{di_r}{dt} + L_{rs} \frac{di_s}{dt}$$

$$v_s = L_{sr} \frac{di_r}{dt} + L_{ss} \frac{di_s}{dt}$$

$$0 < t < 1 \Rightarrow i_s(t) = t$$

$$0 < t < 2 \Rightarrow i_r(t) = 1 - \frac{t}{2}$$

$$1 < t < 2 \Rightarrow i_s(t) = 1$$

$$2 < t < 4 \Rightarrow i_r(t) = \frac{t}{2} - 1$$

$$2 < t < 3 \Rightarrow i_s(t) = 3 - t$$

$$t > 4 \Rightarrow i_r(t) = 1$$

$$t > 3 \Rightarrow i_s(t) = 0$$

$$b) v_s(t) = 2 \frac{di_r}{dt} + 4 \frac{di_s}{dt}$$

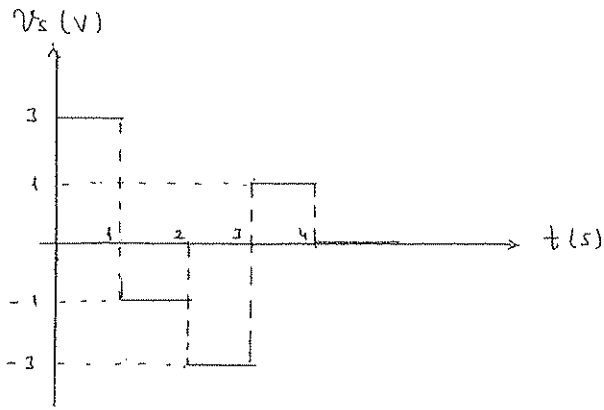
$$0 < t < 1 \Rightarrow v_s(t) = 2 \cdot (-0,5) + 4 \cdot 1 = 3 \text{ V}$$

$$1 < t < 2 \Rightarrow v_s(t) = 2 \cdot (-0,5) + 4 \cdot 0 = -1 \text{ V}$$

$$2 < t < 3 \Rightarrow v_s(t) = 2 \cdot (0,5) + 4 \cdot (-1) = -3 \text{ V}$$

$$3 < t < 4 \Rightarrow v_s(t) = 2 \cdot (0,5) + 4 \cdot 0 = 1 \text{ V}$$

$$t > 4 \Rightarrow v_s(t) = 2 \cdot 0 + 4 \cdot 0 = 0 \text{ V}$$



$$c) v_r(t) = 2 \cdot \frac{di_r}{dt} + 2 \cdot \frac{di_s}{dt}$$

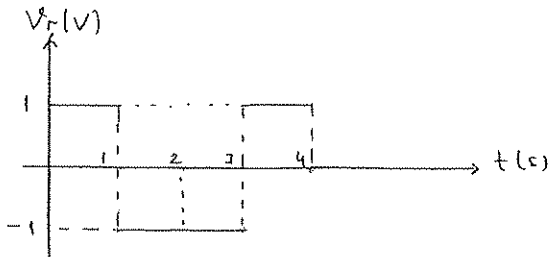
$$0 < t < 1 \Rightarrow v_r(t) = 2 \cdot (-0,5) + 2 \cdot 1 = 1 \text{ V}$$

$$1 < t < 2 \Rightarrow v_r(t) = 2 \cdot (-0,5) + 2 \cdot 0 = -1 \text{ V}$$

$$2 < t < 3 \Rightarrow v_r(t) = 2 \cdot (0,5) + 2 \cdot (-1) = -1 \text{ V}$$

$$3 < t < 4 \Rightarrow v_r(t) = 2 \cdot (0,5) + 2 \cdot 0 = 1 \text{ V}$$

$$t > 4 \Rightarrow v_r(t) = 2 \cdot 0 + 2 \cdot 0 = 0 \text{ V}$$



$$d) M_e = \frac{i_s^2}{2} \frac{dL_{ss}}{d\theta} + i_r \cdot i_s \cdot \frac{dL_{sr}}{d\theta}$$

$$M_e = \frac{i_s^2}{2} \cdot \frac{d}{d\theta} (7 + 3 \cdot \cos 4\theta) + i_r \cdot i_s \cdot \frac{d}{d\theta} (2\sqrt{2} \cdot \cos \theta)$$

$$M_e = \frac{i_s^2}{2} (-12 \cdot \sin 4\theta) + i_r \cdot i_s \cdot (-2\sqrt{2} \cdot \sin \theta)$$

$$M_e = 6 \cdot i_s^2 - 2 \cdot i_r \cdot i_s \text{ olur.}$$

$$0 < t < 1 \Rightarrow M_e = 6 \cdot t^2 - 2 \cdot (t - \frac{t^2}{2}) = 7t^2 - 2t$$

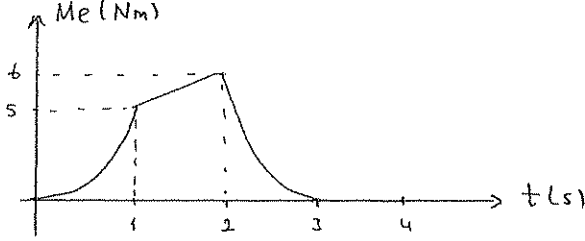
$$1 < t < 2 \Rightarrow M_e = 6 - 2 \cdot (1 - \frac{t}{2}) = 4 + t$$

$$2 < t < 3 \Rightarrow M_e = 6 \cdot (9 - 6t + t^2) - 2 \cdot (3 - t) \cdot (1 - \frac{t}{2})$$

$$= 5t^2 - 31t + 48$$

$$3 < t < 4 \Rightarrow M_e = 6.0 - 2.0 = 0$$

$$t < 4 \Rightarrow M_e = 6.0 - 2.0 = 0$$



SORU: Rotoru sargılı relüktans motoruna ilişkin endüktanslar;

$$L_s(\theta) = 0,72 + 0,25 \cos 6\theta, \quad L_r(\theta) = 0,92 + 0,63 \cos 6\theta, \quad L_{sr}(\theta) = 0,75 \cos 6\theta$$

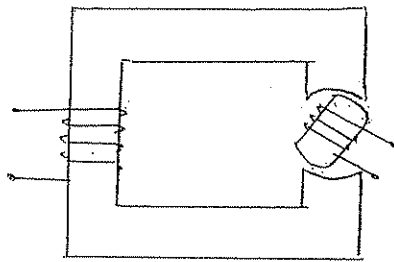
Henry olarak verilmiştir.

a) Motorun şemasını çiziniz.

b) $I_s = 8A$ ve $I_r = 10A$ sabit sargı akımı değerinde θ 'nin 0° 'den 10° 'ye değişiminde yapılan mekanik işi bulunuz.

c) Yukarıdaki devrim sırasında rotor ve statoru besleyen kaynaklardan çekilen enerji değerini bulunuz.

a) Hem rotor bobininin özendüktansı hem de stator bobininin özendüktansı rotor konumuna bağlıdır. Bundan dolayı rotor ve statoru cıkkık kutuplu rotoru sargılı relüktans motordur.



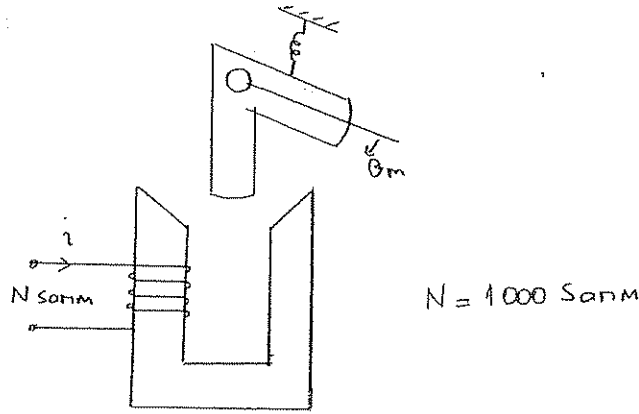
$$b) W = \left. \frac{I_r^2}{2} L_{rr} + \frac{I_s^2}{2} L_{ss} + I_r I_s L_{sr} \right|_{\theta_1}^{\theta_2} = \int_{\theta_1}^{\theta_2} M_e d\theta$$

$$W = \left[50 \cdot (0,92 + 0,63 \cos 6\theta) + 32 \cdot (0,72 + 0,25 \cos 6\theta) + 80 \cdot 0,75 \cos 6\theta \right] \Big|_0^{10^\circ}$$

$$W = (61,75 + 27,04 + 59,09) - (77,5 + 31,04 + 60)$$

$$W = -20,66 \text{ J}$$

SORU:



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

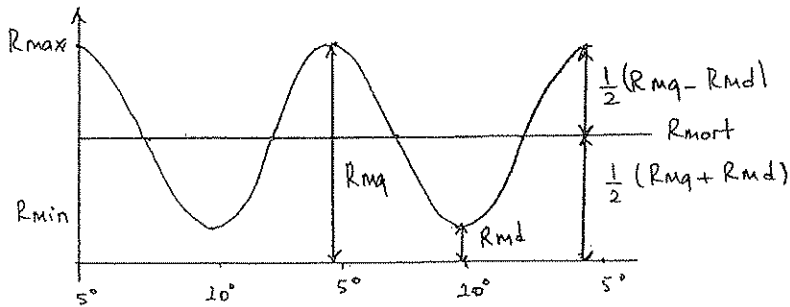
$$R(\theta_m) = \frac{9000}{\theta_m + 3^\circ} \text{ A/Wb.}$$

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.

$\theta_m = 5^\circ$ ile $\theta_m = 20^\circ$ arasında $R_m(\theta_m)$ direnci sinüsoidal bir karakteristik gösterir.

$$\theta_m = 5^\circ \text{ iken } R_{m9} = 1125 \text{ A/Wb.}$$

$$\theta_m = 20^\circ \text{ iken } R_{m20} = 391,384 \text{ A/Wb.}$$



Fourier serisine açılırsa;

$$R_m = \frac{1}{2} (R_{m9} + R_{m20}) - \frac{1}{2} (R_{m9} - R_{m20}) \cdot \cos 2\theta$$

$$R_m = 758,192 - 366,808 \cdot \cos 2\theta \text{ A/Wb}$$

$$\Phi = \frac{N \cdot i}{R_M} = \frac{1000 \cdot 1,5}{758,192 - 366,808 \cdot \cos 24^\circ} = 3,545 \text{ Wb.}$$

$$M_e = - \frac{\Phi^2}{2} \cdot \frac{dR_M}{d\theta}$$

$$M_e = - \frac{3,545^2}{2} \cdot \frac{d}{d\theta} (758,192 - 366,808 \cdot \cos 2\theta)$$

$$M_e = - \frac{3,545^2}{2} \cdot 2 \cdot 366,808 \cdot \sin 2\theta$$

$$M_e = - 3,545^2 \cdot 366,808 \cdot \sin 24^\circ = - 1874,93 \text{ Nm.}$$