

- KONU BAŞLIKLARI - 1 -

1. Giriş
2. Magnetik Sistemler
3. Mekanik Sistemler
4. Elektromekanik Sistemler
5. Reluktans Motoru - "Co-enerji"
6. Transformatörler

BÖLÜM - 1 -

1. Giriş

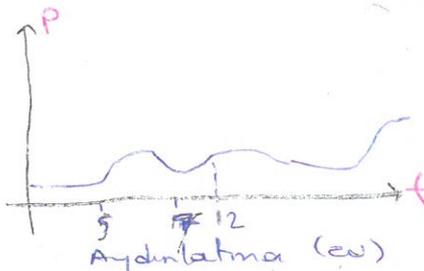
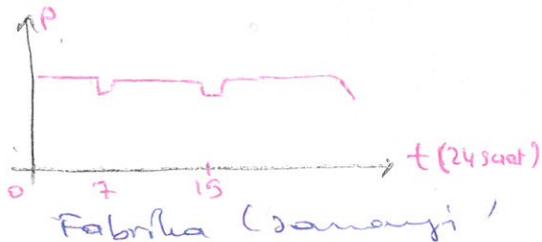
Elektrik Müh'nin Konusu: Elektrik Müh'nin konusu; elektrik enerjisinin üretilmesi, iletilmesi ve dağıtılması. Elektrik enerjisinin üretildiği elemana "generator" adı verilir. Generator mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren alettir. Generatorin mekanik enerjisi süreci makineden gelir. Süreci makineye örnek olarak "su tribünü, gaz tribünü, buhar tribünü" verilebilir.
 Hidrolik santral

Elektrik enerjisinin üretildiği yer ile tüketildiği yer genellikle farklıdır. Bu nedenle elektrik enerjisinin bir yerden bir başka yere taşınması gerekir.

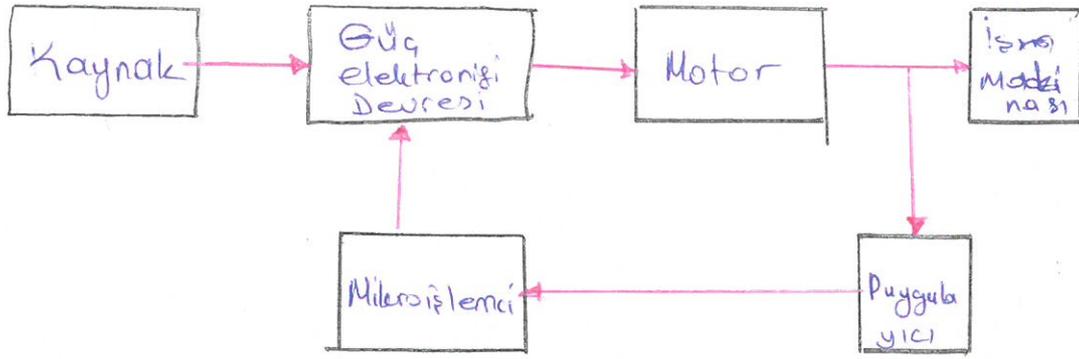
Kayıpları azaltmak amacıyla gerilimi yükseltmek gerekir. Gerilimi yükselten veya alıttan alete "transformatör" denir. Bir transformatör yardımıyla gerilim yükseltilir.

Elektrik enerjisi şehirler arası hava hatlarla iletilir. Hava hattın sonunda indirici trafo vardır. indirici trafoda gerilim indirildikten sonra tüketiciye verilir. Tüketici ile kablo ayrılır.

- 1- Aydınlatma tüketicisi
- 2- Sanayi tüketicisi



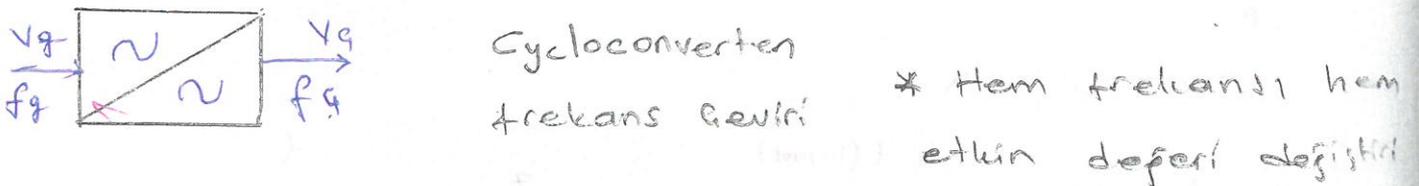
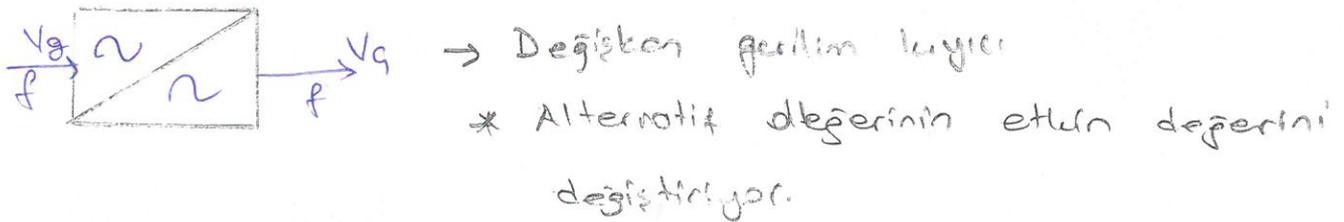
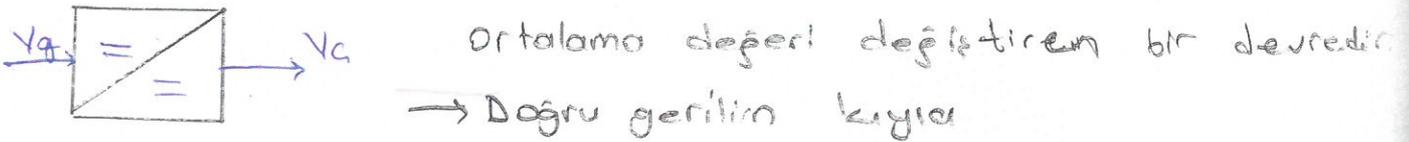
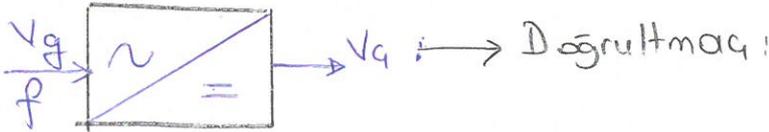
Elektirigin Endüstriye Uygulanması



Şekilde gösterilen blok diyagramı endüstride sık kullanılan bir sisteme ilişkin örnektir. Sırayla bu öğeleri yakından inceleyelim

Kaynak: Alternatif akım yada doğru akım kaynağıdır.

Güç Elektronik Devresi: Güç elektronik devresi gerilimin dalga şeklini değiştiren devredir. Güç. Elek. dev. ağırlıklı şekillerinde biliyor.



Motor, Elektrik motorları endüstrinin temel öğelerinden olup son derece önemlidir. Motor elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren ayardır. Değişik türleri vardır.

1. Asenkron Motorlar → sbt hızı değil
2. Senkron Motorlar → sbt hızı (ω)
3. Doğru akım Motoru → Hız denetimi çok kolay. Maliyetli.
4. Özel Motorlar → (Stepper) Motoru (Adım) Robot kollarında kullanılır. Silencerlerde olabilir. Kontrol için ilgili bir motordur.

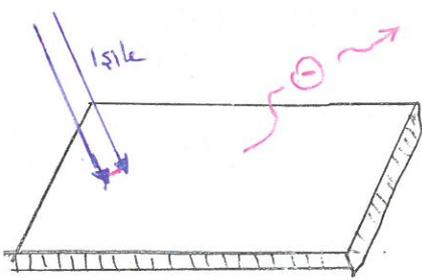
İş Makinası: Belli bir görevi yerine getirmek amacıyla oluşturulmuş sistemlere iş makinası adı verilir.

Asansör, takım tezgahı, torna, yürüyen merdiven v.b. iş mak. örneklerle Duygusal Mekanik büyüklüğü elektrisel büyüklüğe çeviren ayardır. Tachometre; hızı elektrisel büyüklüğe çeviren alettir.

Elektrinin Üretimi:

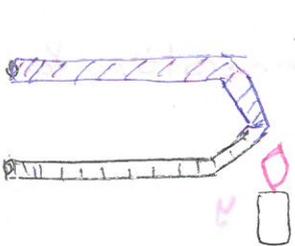
Elektrik üretimi fiziksel olarak aşağıdaki yöntemlerle gerçekleştirilebilir.

③ Fotosel



- Sokak lambalarının kontrolünde kullanılır.
- Film setinde aydınlatmanın her yerde aynı olmasını sağlar.

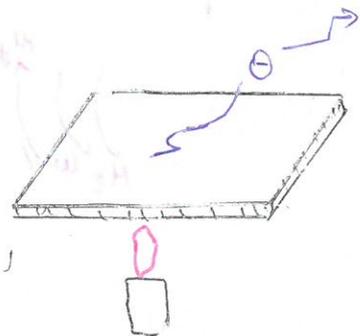
② Termo elektrik cihaz:



- Yüklük sıcaklık farklarının sıcaklığı ni ölçmede kullanılır.

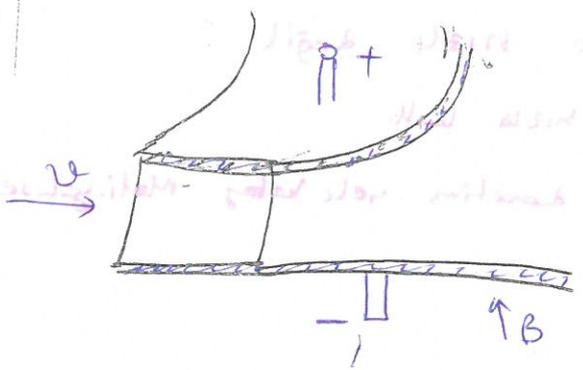
③ Termiyonik cihaz

Ölçü aletlerinde da kullanılır.



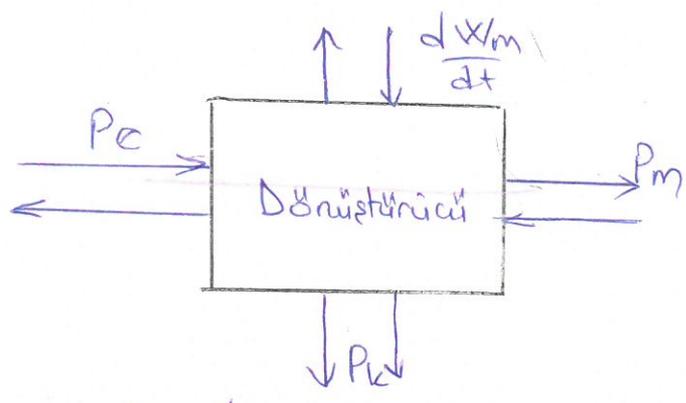
- ④ Elektromekanik Enerji Dönüştürücüler (Bu dersin konusu)
- ⑤ Magnetohidrodinamik (MHD) Ayrıt: İki levha var,

Moment
Dönüştürücü

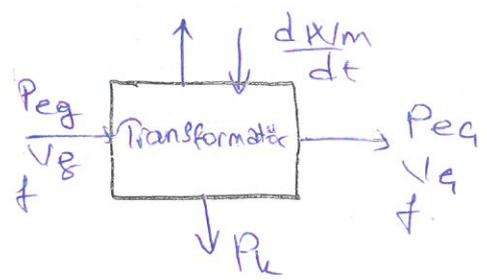
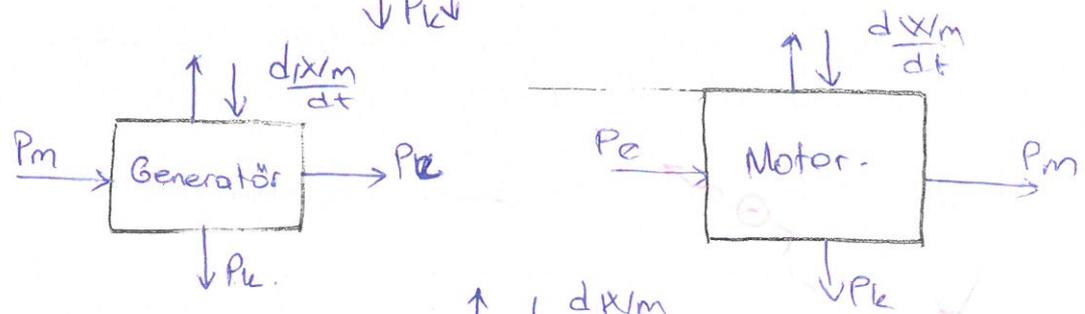


Isıtılmış havaya magnetik alan etki ettiğinde elektron çıkışı sağlar. (İyonize olmuş hava)

Dönüştürücü

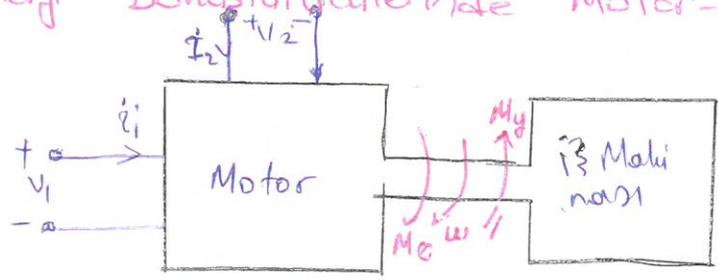


P_e = Elektriksel güç
 P_m = Mekanik güç
 P_k = Kayıp Gücü
 $\frac{dW_m}{dt}$ = Depo edilen enerji
 deli artış yada azalış



[

Enerji Dönüştürücülerinde Motor-Generatör Kavramı

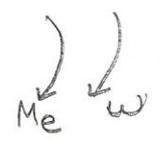
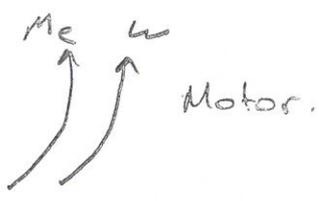


M_m = Üretilen Moment
 M_g = Yükle Moment
 ω = Açısal hız

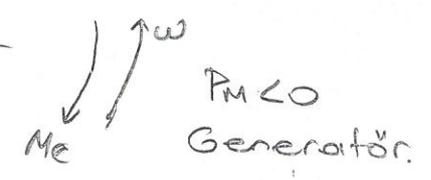
$P_g = V_1 \cdot I_1 + V_2 \cdot I_2$

$P_g > 0$ Motor
 $P_g < 0$ Generatör

$$P_m = M_e \cdot \omega$$



$P_m > 0$ Motor



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

$$P = \frac{M \cdot \theta}{t} = \underline{M \cdot \omega} \rightarrow \text{Elektriksel güç.}$$

BÖLÜM - 2 -

Magnetik Sistemler

E.M. dönüştürücüler için temel öğeler şunlardır

- 1- Elektriksel kısım
- 2- Magnetik kısım
- 3- Mekanik kısım

Elektriksel kısım: Bir sarıdan akım geçirilmesiyle oluşturulan kısımdır. Elektriksel kısma ilişkin denk devreler teorisinin bilinen denklemleridir.

Mekanik kısma ilişkin denklemler Newton yasalarıdır.

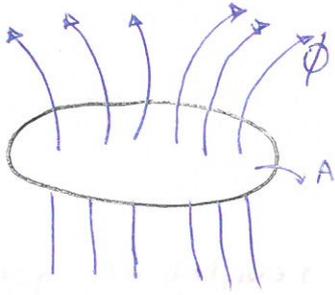
Mekanik kısım, elektriksel kısım birbirine bağlayan kısım magnetik alandır. Magnetik alana ilişkin denklemlere "Maxwell denklemleri" adını veririz. Maxwell denklemleri kısmi türevli diferansiyel denklemler toplamıdır. Kısmi türevli Maxwell denklemleri bilmek için sınır koşullarını bilmek gerekir. Maxwell denklemlerini elle çözümü en genel halde çok zordur. E. Makinalarında oluşan olaylar sanki değişken değilmiş gibi düşünülebilir. Bu işe ismizi kolaylaştırır.

Amper Yasası: $\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = \int \vec{J} \cdot d\vec{A}$

H: Magnetik Alan şiddeti $[H] = A/m$

J: Akım Yoğunluğu $[J] = A/m^2$

→ Kapalı bir çevre boyunca Magnetik alan şiddetinin çizgisel integrali, bu kapalı çevreyle belirlenen Alan üzerinde akım yoğunluğunun alan ile eşittir.



$[\Phi] = \text{Weber} = \text{wb}$

$[A] = \text{m}^2$

$B = \frac{\Phi}{A}$

$[B] = \text{wb}/\text{m}^2 = \text{T} (\text{Tesla})$

B: Magnetik alan yoğunluğu → Magnetik indüksiyon.

$B = \mu \cdot H$

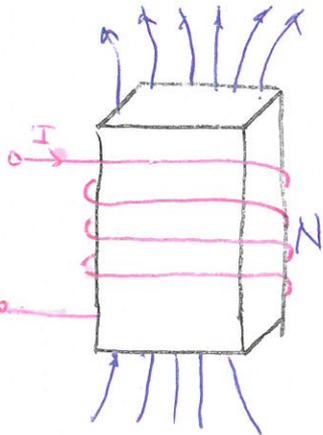
$\mu =$ Magnetik geçirgenlik katsayısı

μ 'nin birimi H/m (Henry/m)

$[\mu] = \text{H/m}$

Boşluğun magnetik geçirgenliği:

$\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$



$\mathcal{F} =$ Magnetomotor kuvveti.

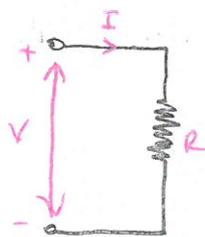
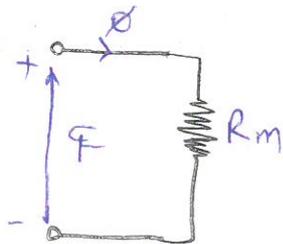
$\mathcal{F} = NI$ (A)

Magnetomotor kuvvet alan yalıtım kabiliyeti (yektisi'dir) 'dir.

Magnetik Direnç (Relüktans)

$R_m = \frac{\mathcal{F}}{\Phi}$

$[R_m] = [A/\text{wb}]$



NOT: Magnetik direnç ile elektrisel direnci birbirine karıştırmamak gerekir. R_m birimi $[A/\text{wb}]$

elektrisel direncin birimi $[R] = [\Omega]$

Elektrik Devreleriyle Magnetik Devreler Arasındaki Benzerlik

Magnetik devreleri çözerken elektrisel devrelere benzeterek

çözeriz.

Elektrik Devresi

Magnetik Devre

Gerilim (V)

Magnetomotor kuvvet (A)

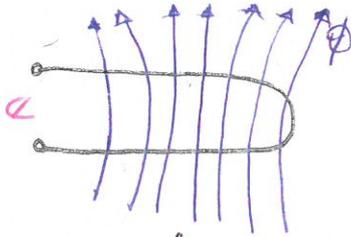
Alan (A)

Alan (wb)

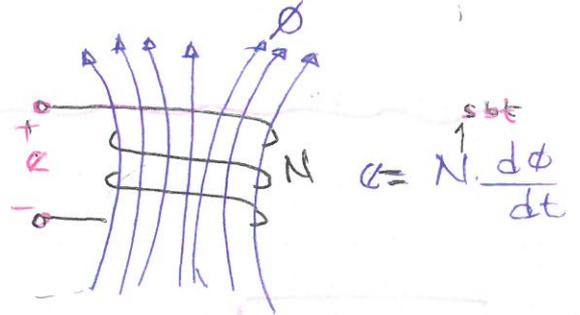
Direnç (Ω)

Magnetik Direnç (A/wb)

Magnetik indüksiyon Yasası



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



Zamanla değişen bir magnetik alan karşına yerleştirile sargıya gerilim endüklendir.

$$e = \frac{d}{dt} (N\phi) \Rightarrow \psi = \lambda = N\phi \quad \text{: Toplam akı (} \psi \text{ / lede gösterilebili (Alan sarmı))}$$

Buradan bir büyüklük tanımluyoruz

$$L = \frac{\lambda}{i}$$

~~göstermek mümkün~~ ψ

$$L = \frac{N^2}{R_m} \text{ dir. (Tek sargılı)}$$

$$R_m = \frac{F}{\phi} = \frac{N \cdot I}{\phi} = \frac{N^2 \cdot I}{N\phi} = \frac{N^2 I}{\lambda} = \frac{N^2}{\lambda/i} = \frac{N^2}{L}$$

NOT (Önemli) $L = sbt$ doğrusal zamanla değişmeyen

$$L = \psi H \text{ gibi}$$

② $L = f(t)$ Doğrusal zamanla değişen. Örnekle $L = 2 + 3 \sin t$

③ $L = f(i)$ Doğrusal olmayan zamanla değişmeyen

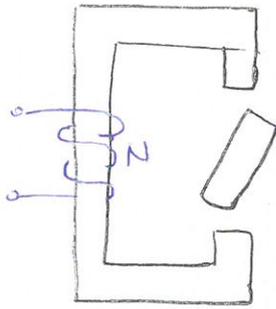
$$L = e^i$$

④ $L = f(i, t)$ Doğrusal olmayan zamanla değişen $L = e^{it}$

$\lambda = 3 + 5I$ sistemi bir doğrusal olmayan bir sistemdir

$$\text{çünkü } L = \frac{\lambda}{i} = \frac{3 + 5I}{I} = \frac{3}{I} + 5 \text{ (Akımın bir fonksiyonu oldu.)}$$

Zamanla değişime örnek



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

L zamanla değişir.

$$L = \frac{N^2}{R_m}$$

Bağıl Magnetik Geçirgenlik

Malzemelerin magnetik geçirgenlikleri $\vec{B} = \mu \vec{H}$ bağıntı
sıyla tanımlanmıştır. $[\mu] = [H/m]$

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$$

μ_r 'ye bağıl magnetik geçirgenlik adını

veriyoruz

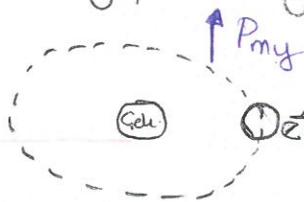
$\mu_r \leq 1$ olanlar diamagnetik \rightarrow Plastik = tahta

$\mu_r \geq 1$ " paramagnetik

$\mu_r \gg 1$ " ferromagnetik \rightarrow Demir

Ferromagnetik malzemelerin R_m küçüktür, magnetik geçirgenliği daha büyük, oluşum daha küçüktür.

Ferromagnetizma ferromagnetizmayı yakından anlayabilmek için atomun yapısına yakından bakalım.



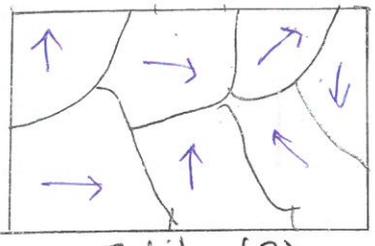
Elektronların gelirden etrafında dönmesiyle nedeniyle bir moment oluşur. Buna "yörünge momenti"

denir. ve P_{my} ile gösterilir

e^- kendi etrafında dönmeyiyle oluşan momente "dönme momenti" denir ve P_{md} denir $\uparrow P_{md}$

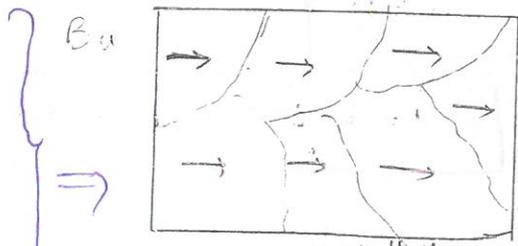
Dönme momenti ile yörünge momentinin vektörel toplamına "atomun momenti" ismini veriyoruz

Ferromagnetik bir malzemeyi elektron mikroskopu altında inceleyelim



Şekil (a)

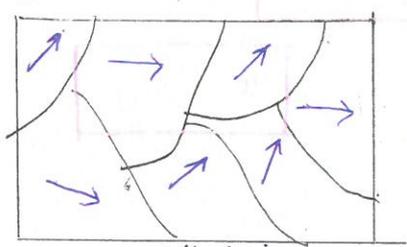
Bu malzemeyi magnetik alan içerisinde koyalım $\vec{B} \rightarrow$ olsun.



Şekil (b)

→ Magnetik alan içerisindeki bölgeler ortadan kalkarak atom momentleri aynı yönde olur. (Şekil (b))

→ Magnetik alan kaldırıldığını düşünelim. Bu durumda bölgeler tekrar oluşur. Ancak eşlik konumunda korunmaz. (Şekil (c))

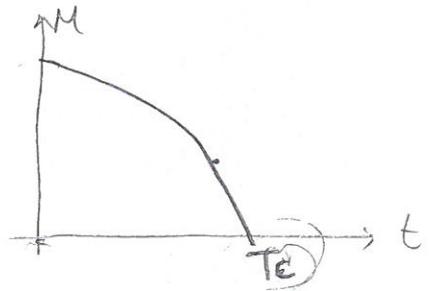


Şekil (c)

Bu olay bölgelik duvarı olarak adlandırılır. Bu olayın sonunda "artık miknatizlik" oluşur

$$\vec{B} \cong \mu_0 (H + M)$$

M: Miknatizlik.



Miknatizliğin sıfır olduğu sıcaklığa "Curie sıcaklığı" adı verilir. Curie sıcaklığı demir için 770°C'dir

Magnetik Alanda Depo Edilen Enerji

N sarımlı sarıyı göze önüne aldım. Sarıya i akımı geçtiğini varsayalım. Bu koşullarda;

$$\lambda = N \cdot \frac{A \cdot B}{\phi} \text{ olur. } A: \text{ Kesit } B: \text{ Alan Yoğunluğu}$$

Bu durumda sarıya uygulanan gerilim;

$$V = R \cdot i + e \text{ olur}$$

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

$$U = R \cdot i + N A \cdot \frac{dB}{dt}$$

Denklemin her iki tarafını i ile

çarpalım.

$$U \cdot i = R \cdot i^2 + N \cdot i \cdot A \cdot \frac{dB}{dt}$$

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

Giriş Gücü

Kayıp Güç

sistemde depo edilen Güç

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

$$N \cdot i = H \cdot l \quad \text{idi. Buradan}$$

$$W = \int H \cdot l \cdot A \cdot dB \Rightarrow W = A \cdot l \cdot \int H \cdot dB$$

buradan da

$$W = A \cdot l \cdot \int \frac{B}{\mu_0} dB \Rightarrow W = \frac{A \cdot l}{\text{Hacim}} \cdot \frac{B^2}{2 \mu_0}$$

Birim hacimdeki enerji miktarı $w = \frac{B^2}{2 \mu_0}$ dir.

$$W = A \cdot l \cdot \frac{B^2}{2 \mu_0} \quad W = F \cdot l$$

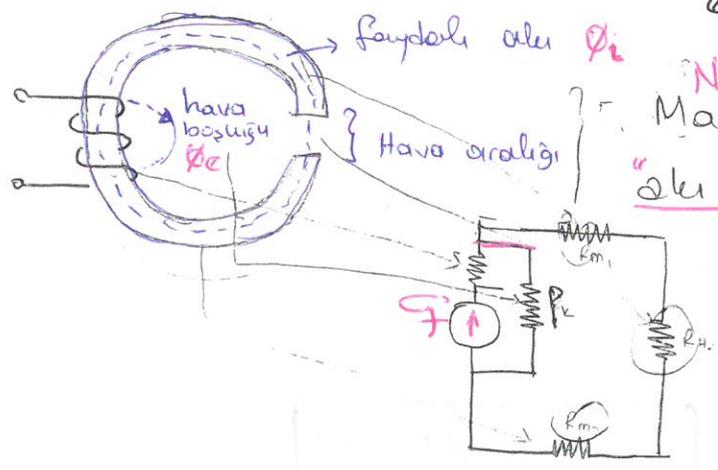
$$F \cdot l = A \cdot l \cdot \frac{B^2}{2 \mu_0} \Rightarrow F = A \cdot \frac{B^2}{2 \mu_0}$$

Magnetik Sistemler

Magnetik sist. çözümleri, elektrik devrelerinin çözümlerine benzetilerek yapılabilir.

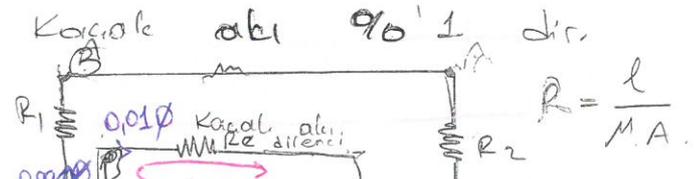
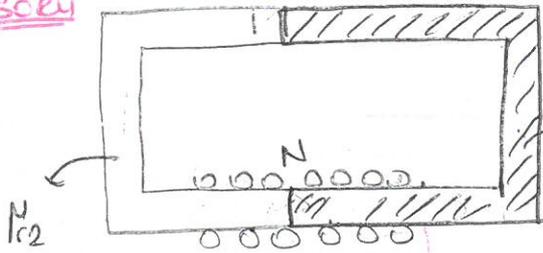
Kaçak Akı:

$$\epsilon = \epsilon_i + \epsilon_e$$



Not: Magnetik devre problemlerinde "akı yolu" takip edilmelidir

SOBY



Kaçak akı %10'dur.
 $R = \frac{l}{\mu A}$
 Bu sayda bir çevre yatacak kaçak akı için dolayı dışarı direnci bulunur

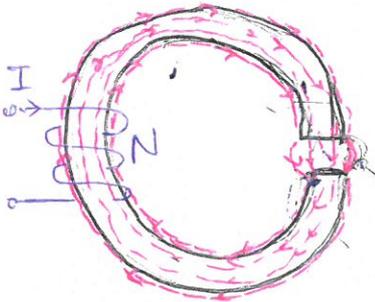
- Devrenin eşdeğerini çiz.
- R_e 'yi bulunuz (Kaçak akı direnci)
- Bu sargının emdüktaansını hesaplayınız

$$R_m = (R_{m1} + R_{m2} // R_e + R_{m1} + R_{m2})$$

$$L = \frac{N^2}{R_m}$$

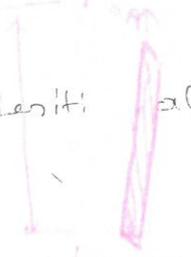
Alu Sapması

Hava aralığı üzerinde geçen alu hava aralığında bir şimşeye uğruşur. Buna "Alu sapması" adı verilir.



adı verilir

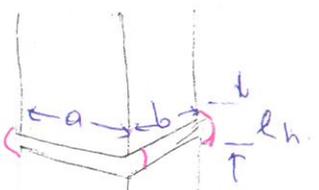
Hava aralığının etli kesiti alu sapması nedeniyle büyümüşler.



Amperlik Bağintı (Deneyçilik) sadece deney sonuçlarından çıkan bağıntıdır. Amperlik bağıntılarıyla hesaplar günümüzde kullanılmadığı için de kullanılmıyor.

Alu Sapması durumunda hava aralığının genişliği vererek amperlik bağıntılar mevcuttur. En genel halde alu sapması durumunda etli kesiti veren bağıntılar mevcuttur. Özel ile durumu bir homojenliği etli kesiti veren bağıntıyı hatırlamak gerekir.

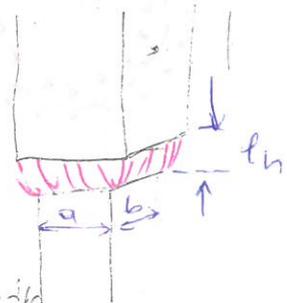
1.) Kesitler Eşit İken.



$$A_h = (a + lh) \cdot (b + lh)$$

2.) Kesitler Eşit değilken

$$A_h = (a + 2lh) \cdot (b + 2lh)$$



ve bu bağıntıları kullanılarak kesitler hesaplanabilir.

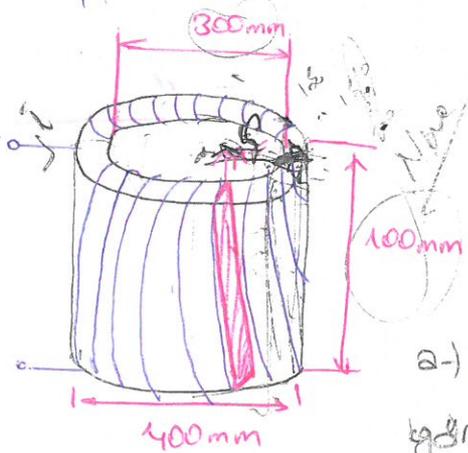
MAGNETİK MALZEMEDE OLUSAN KAYIPLAR

Zamanla değişen bir magnetik alan içerisinde bulunan ferromagnetik malzemede iki farklı türde kayıplar meydana gelir.

- 1- Histeresiz kayıpları
- 2- Girdap akımı kayıpları

Histeresiz kayıpları ile Girdap akımları kayıplarının toplamına "demir" yahut da "Fuko" kayıpları adı verilir.

Örnek Problem



Şekilde özellikleri bildirilen olan 200 sarımlı plastik hallece bir troid gösterilmiştir. Sargılar herbirinin çapı 3 mm olan bakır iletkenle yapılmıştır.

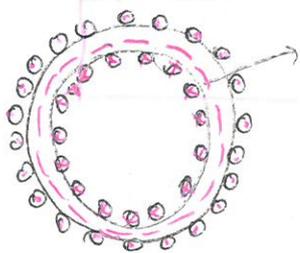
a) İletkenden akan akım 50 A olduğuna göre troidin çapının ortasındaki Alan şiddetini bulunuz

b) Akı yoğunluğu her yerde çapın ortasındaki değerle aynı olduğunu varsayarak sargıya ilişkin endüktansı bulunuz

c) Akı yoğunluğunun her yerde aynı olması varsayımıyla yapılan hata %'de olarak ne kadardır

d) Bakırın özgül direnci $17,2 \times 10^{-9}$ Ω -m olduğuna göre verile aygıtın eşdeğer parametrelerini bulunuz

Çözüm



çapın ortası

$$\begin{aligned} H &= \frac{N \cdot i}{2\pi r} \\ &= \frac{200 \times 50}{\pi \times 0,35} \\ &= 9095 \text{ A/m} \end{aligned}$$

Çapın içinde kalın yerde

Alan şiddetini

Çapın dışında da Alan şiddetini

$$B = \mu \cdot H = 4\pi \times 10^{-7} \cdot 9095 = 11,43 \times 10^{-3} \text{ T}$$

b.) Plastik diyamagnetik malzemedir. $\mu_r = 1$ 'e yakındır.

$$R_m = \frac{l = 2\pi r_0}{\mu_0 \mu_r N^2} = \frac{0,35 \cdot \pi}{4\pi \times 10^{-7} \times 0,1 \times 0,05} = 175,0 \times 10^6 \text{ A/Wb}$$

$$L = \frac{N^2}{R_m} = \frac{(200)^2}{175 \times 10^6} = 228,6 \times 10^{-6} \text{ H}$$

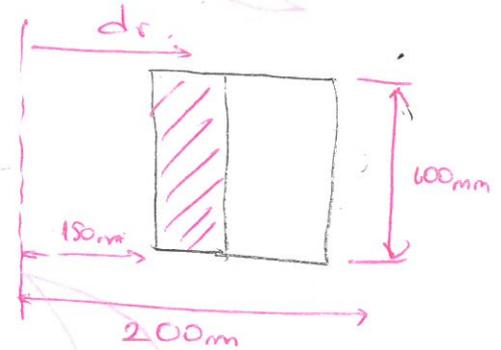
c-1 $B = \frac{\mu_0 N i}{2\pi r} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \times 200 \times i}{2\pi r}$

$$\phi = \int_{0,15}^{0,20} B \times 0,1 \times dr$$

$$\lambda = N \cdot \phi = \frac{0,1 \cdot \mu_0 N^2 i}{2\pi} \int_{0,15}^{0,20} \frac{dr}{r}$$

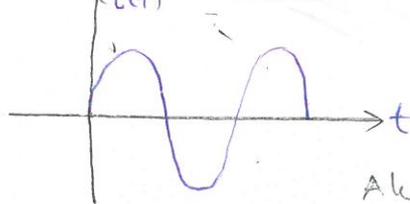
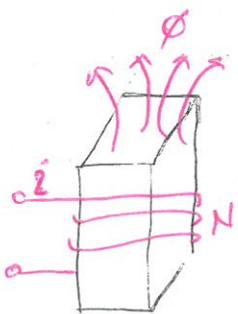
$$L = \frac{\lambda}{i} = \frac{0,1 \times 4\pi \times 10^{-7} \times (200)^2}{2\pi} \cdot \ln\left(\frac{0,2}{0,15}\right) = 230,1 \times 10^{-6} \text{ H}$$

$$\text{Hata} = \frac{230,1 - 228,6}{230,1} \times 100\% = \% 0,6$$



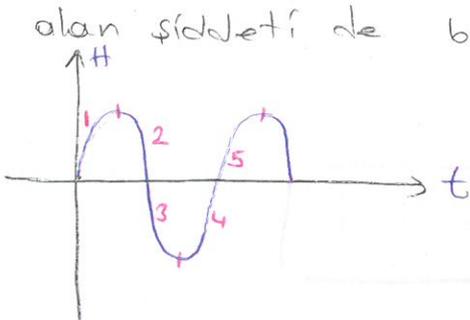
d.) $R = \frac{\rho \cdot l}{A} = \frac{17,2 \times 10^{-9} \times 200 \times 0,3}{\pi \times 3^2 \times 10^{-6} / 4} = 0,1460 \Omega$

Histeresiz Kayıpları Ferromat değişen alümin sinüzoidal olduğunu varsayalım. Histeresize kayıpları olmaması için akım değişken olmalıdır.

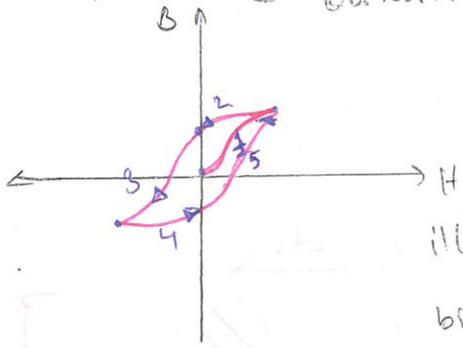


$$H = \frac{N \cdot i}{l}$$

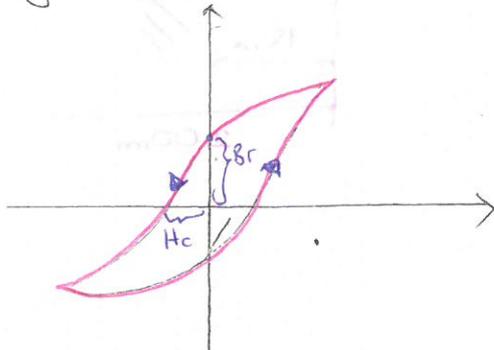
Alümin sinüzoidal ise, magnetik alan şiddeti de bir ölçek farkıyla sinüzoidal olur.



Malzemenin daha önce bir magnetik alanda içerisinde bulunmadığını varsayalım.



B-H çevriminde çizilen yollar ilk. bir kaç çevrim için aynı değildir. İlk bir kaç çevrimden sonra B-H çevrimi aynı çevrim üzerinden yolunu tamamlar.



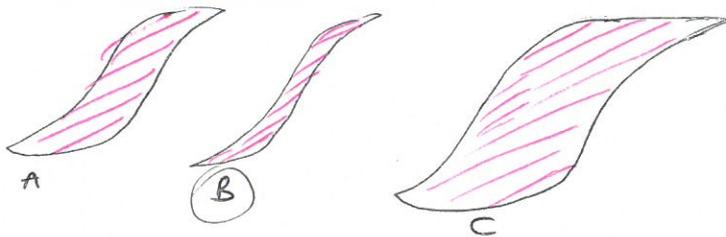
Br = Artık manyetizasyon

Hc = Coercive kuvvet

B-H çevrimi nedeniyle oluşan kayıplara histeresize kayıpları adı verilir. Histeresize kayıpları, histeresize çevrim yüzeyiyle doğru orantılıdır.

$$\Delta W = \int H \cdot dB \quad (\text{J/m}^3)$$

Histeresize kayıplarını şekle bakarak anlayabiliriz.



Bu üç malzemenin kayıplar açısından en kullanışlı malzeme B'dir. En kullanışsız malzeme C'dir. (Fiyatları aynı olmak şartıyla)

Histeresize kayıplarını ampirik bağıntıyla hesaplayabiliriz.

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

P_h : Histeresize kayıplar.

K_h : Histeresize kayıp katsayısı, Malzemenin cismine bağlıdır ve hacmiyle doğru orantılıdır.

f : frekans.

B_m : Akı yoğunluğunun Max. değeri.

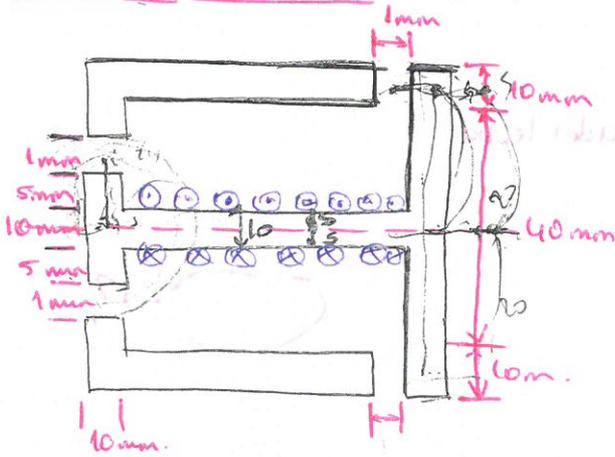
n : sınıtmanz sabiti, malzemenin türüne bağlıdır.

Girdap Akımı Kayıpları

Zamanla değişen bir alan ruinde bulunan bir ferromagnetik malzemede, girdap akımları oluşur.

Girdap akımlarının oluşturduğu kayıplara ise girdap akımları kayıpları denir.

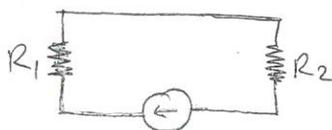
ÖRNEK PROBLEM $\mu = 2$



Şekilde eksenele dönel simetrik bir magnetik sistem verilmiştir. Sistemin oluşturan malzemenin bazil magnetik geçirgenliği çok büyüktür. Sargı $2,5 \text{ mm}^2$ kesitli balur iletken

den yapılmıştır. Sargının sarım sayısı $(N=500)$ dir. Balurun $\mu = 17,2 \times 10^{-9} \text{ z m}$ dir. Kayıp akımın etkisi sapmaları yok denecek kadar azdır. Bu sargıdan 220V, 50Hz lik şebekeden ne kadar akım gelir.

Çözüm



$$R_1 = \frac{l}{\mu \times A} = \frac{1 \times 10^{-3}}{\mu \times \pi \times 21 \times 10^{-3} \times 10 \times 10^{-3}}$$

$$R_2 = \frac{1 \times 10^{-3}}{\mu \times \pi \times 50 \times 10 \times 10^{-6}} = 1,206 \times 10^6 \text{ A/Wb}$$

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

$$= 1,7072 \times 10^6$$

$$= 0,5066 \times 10^6 \text{ A/Wb}$$

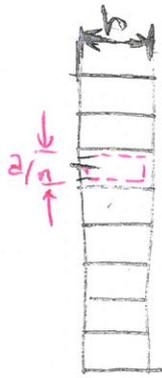
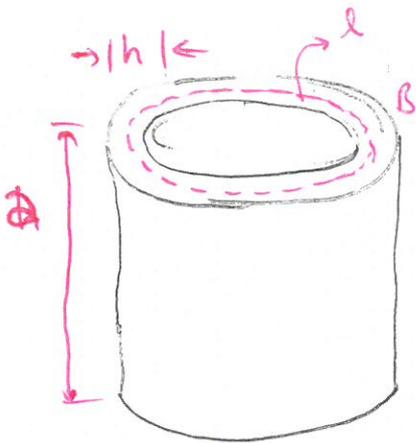
$$L = \frac{N^2}{2\pi s} = 145,9 \text{ mH} \quad R = s \cdot \frac{l}{A}$$

$$R = 17,2 \times 10^{-5} \cdot \frac{500 \times \pi \times 10 \times 10^{-3}}{2,5 \times 10^{-6}} \Rightarrow R = 108,4 \text{ m}\Omega$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2} = 45,84 \Omega$$

$$I = \frac{V}{Z} = 4,799 \text{ A}$$

Girdap akımı kayıplarının nasıl oluştuğunu gözünden inceleyelim.



$$\Phi = B \cdot \frac{a}{n} \cdot h$$

$$e = \frac{d\Phi}{dt} = \frac{a \cdot h}{n} \cdot \frac{dB}{dt}$$

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

$$= s \cdot \frac{2h}{\frac{a}{2n} \cdot l}$$

$$P_1 = \frac{e^2}{R}$$

$$P = n \cdot P_1$$

$$P = n \cdot P_1 = \frac{a^2}{4s n^2} \cdot \left(\frac{dB}{dt} \right)^2 \cdot \underbrace{(a \cdot l \cdot h)}_{\text{hacim}}$$

Girdap akımı kayıplarını azaltmanın iki yolu vardır

- 1.) Malzemenin yerine silisyum katı malzemenin özel direncini artırarak
2. Levhaların kalınlığı ne kadar azalırse girdap akımı kayıpları da n oranda katı oranda azalır.

Aynı koşullarda giribip akımları hacimle doğru oran-
tılıdır

Alümin zamanla sinüzoidal değıştiğini varsayalım

$$B(t) = B_m \cdot \sin 2\pi \cdot f \cdot t$$

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

$$\left(\frac{d}{t} = \frac{M}{V} \right) \Rightarrow V = \frac{M}{d}$$

$$M = V \cdot d$$

Burada;

P_g = Giribip alımı kayıpları

K_g : giribip akımları kayıpları katsayısı, Malzemenin türüne bağlıdır. Bir malzemeden diğer malzemeğe değışir

Hacimle doğru orantılıdır

$$\cos^2 t = \frac{1}{2} (1 + \cos 2t)$$

ortalama değeri sıfırdır.

↳ sbf. aynı kalıyor ve K_g sabitinin aynı giret

Demir Kayıpları (Fuko Kayıpları)

Histeresize kayıpları ve giribip akımları kayıp ları toplamına "demir kayıpları (Fuko kayıpları)" denir.

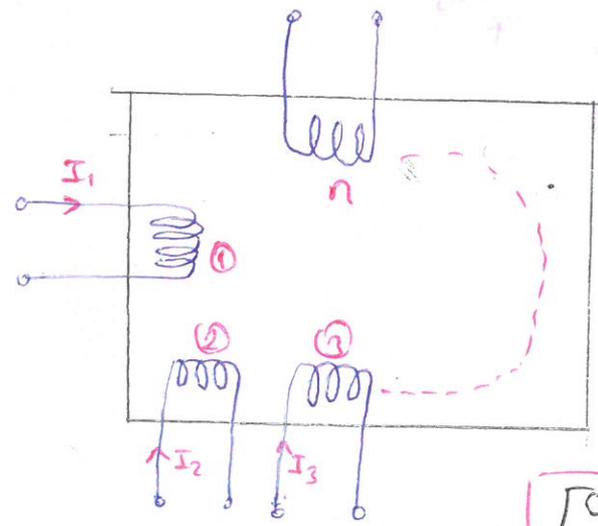
$$P = \underbrace{K_h \cdot f}_{\text{histeresize}} (B_m)^2 + \underbrace{K_g \cdot f^2}_{\text{Giribip akımları kayıpları}} (B_m)^2$$

P = demir kayıpları

Giribip akımları kayıpları

M GÖK İYARTILI MAGNETİK SİSTEMLER

Buraya kadar yaptığımız analizlerde sarğı sayısını bir tane olduğunu varsaydık. Sarğı sayısının birden fazla olduğu sistemleri göz önüne alalım.



$$\mathcal{F}_1 = R_{11}\Phi_1 + R_{12}\Phi_2 + \dots + R_{1n}\Phi_n$$

$$\mathcal{F}_2 = R_{21}\Phi_1 + R_{22}\Phi_2 + \dots + R_{2n}\Phi_n$$

$$\mathcal{F}_n = R_{n1}\Phi_1 + R_{n2}\Phi_2 + \dots + R_{nn}\Phi_n$$

Matrisset biçiminde

$$[\mathcal{F}] = [R] \cdot [\Phi]$$

λ 'lar birimden yazarsak

$$\left. \begin{aligned} \lambda_1 &= L_{11} i_1 + L_{12} i_2 + \dots + L_{1n} i_n \\ \lambda_2 &= L_{21} i_1 + L_{22} i_2 + \dots + L_{2n} i_n \\ &\vdots \\ \lambda_n &= L_{n1} i_1 + L_{n2} i_2 + \dots + L_{nn} i_n \end{aligned} \right\} \text{matrisel biçimde}$$

$$\underline{[\lambda]} = \underline{[L]} \cdot \underline{[i]}$$

Gök uyartılı magnetik devre iki yolla çözülebilir

- 1.) Çevrelerden giderek
- 2.) Toplam salık (süperpozisyon) yöntemlerinden giderek çözülebilir.

Bu yöntemleri bir örnek problem üzerinden açıklayalım.

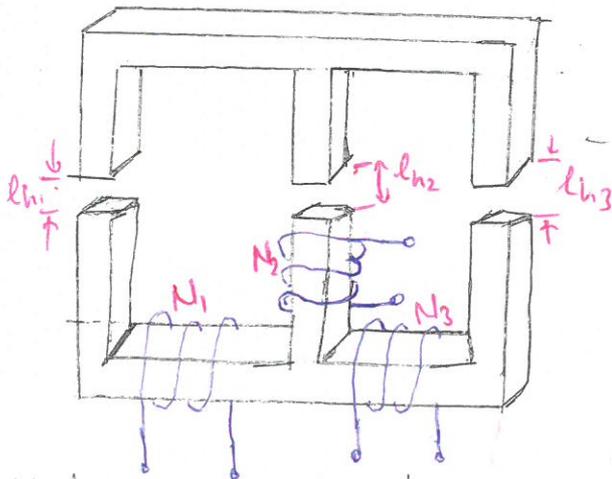
Gök Uyartılı Sistemlerde Depo Edilen Enerji

$$W = \frac{1}{2} R_{11} \Phi_1^2 + \frac{1}{2} R_{22} \Phi_2^2 + \dots + R_{12} \Phi_1 \Phi_2 + R_{13} \Phi_1 \Phi_3 + \dots$$

$$W = \frac{1}{2} L_{11} i_1^2 + \frac{1}{2} L_{22} i_2^2 + \dots + L_{12} i_1 i_2 + L_{13} i_1 i_3 + \dots$$

Örnek Problem

Önemli



Malzemenin μ_r doğrudan magnetik geçirgenliği sonsuz büyüklüğü ($\mu_r = \infty$). Kacalı alan ve hava

Şekilde gösterilen gök uyartımda

kesiti 15 cm^2 dir. Sargıların sarım sayıları:

$$N_1 = 100 ; N_2 = 200 ; N_3 = 300$$

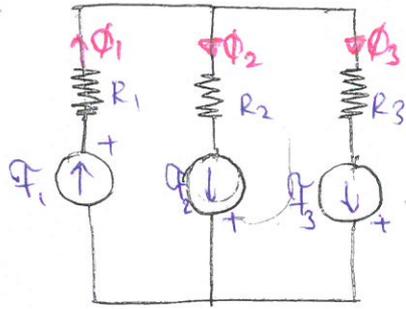
Hava aralıklı

$$l_{h1} = 1 \text{ mm} \quad l_{h2} = 2 \text{ mm} \quad l_{h3} = 3 \text{ mm}$$

Sargıların öz ve ortak endüktanslarını

- 2) Magnetik çevreye ilişkin denklemlerden yararlanarak,
 b) Toplam salıllık ilkesinden yararlanarak bulun.

Çözüm



Şekil: Üç uyumlu mag. sistemin eşdeğer devresi

Eşdeğer dev. ilişkin mag. direnç değerlerini bulalım

$$\mathcal{R}_1 = \frac{lh_1}{\mu_0 \cdot A} = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1,5 \cdot 10^{-4}}$$

$$\mathcal{R}_1 = 0,5305 \times 10^6 \text{ A/wb}$$

$$\mathcal{R}_2 = \frac{lh_2}{\mu_0 \cdot A} = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1,5 \cdot 10^{-4}} \Rightarrow \mathcal{R}_2 = 1,061 \times 10^6 \text{ A/wb}$$

$$\mathcal{R}_3 = \frac{lh_3}{\mu_0 \cdot A} = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1,5 \cdot 10^{-4}} \Rightarrow \mathcal{R}_3 = 1,592 \times 10^6 \text{ A/wb}$$

2-) Mag. dev. ilişkin denklemleri yazalım.

$$F_1 + F_2 = \mathcal{R}_1 \phi_1 + \mathcal{R}_2 \phi_2 \quad (1. \text{ çevre denk})$$

$$F_3 - F_2 = \mathcal{R}_3 \phi_3 - \mathcal{R}_2 \phi_2 \quad (2. \text{ çevre denk})$$

$$0 = \phi_1 - \phi_2 - \phi_3$$

$$N_1 \cdot I_1 + N_2 I_2 = \mathcal{R}_1 \phi_1 + \mathcal{R}_2 \phi_2$$

$$N_3 \cdot I_3 - N_2 I_2 = \mathcal{R}_3 \phi_3 - \mathcal{R}_2 \phi_2$$

$$0 = \phi_1 - \phi_2 - \phi_3$$

Bu denklemlerden aluları cinsinden yazalım.

$$\begin{bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{N_1(\mathcal{R}_2 + \mathcal{R}_3)}{\mathcal{R}_1 \mathcal{R}_2 + \mathcal{R}_1 \mathcal{R}_3 + \mathcal{R}_2 \mathcal{R}_3} & \frac{N_2 \mathcal{R}_2}{\mathcal{R}_1 \mathcal{R}_2 + \mathcal{R}_1 \mathcal{R}_3 + \mathcal{R}_2 \mathcal{R}_3} & \frac{N_3 \mathcal{R}_2}{\mathcal{R}_1 \mathcal{R}_2 + \mathcal{R}_1 \mathcal{R}_3 + \mathcal{R}_2 \mathcal{R}_3} \\ \frac{N_1 \mathcal{R}_3}{\mathcal{R}_1 \mathcal{R}_2 + \mathcal{R}_1 \mathcal{R}_3 + \mathcal{R}_2 \mathcal{R}_3} & \frac{N_2(\mathcal{R}_1 + \mathcal{R}_3)}{\mathcal{R}_1 \mathcal{R}_2 + \mathcal{R}_1 \mathcal{R}_3 + \mathcal{R}_2 \mathcal{R}_3} & \frac{-N_3 \mathcal{R}_1}{\mathcal{R}_1 \mathcal{R}_2 + \mathcal{R}_1 \mathcal{R}_3 + \mathcal{R}_2 \mathcal{R}_3} \\ \frac{N_1 \mathcal{R}_2}{\mathcal{R}_1 \mathcal{R}_2 + \mathcal{R}_1 \mathcal{R}_3 + \mathcal{R}_2 \mathcal{R}_3} & \frac{-N_2 \mathcal{R}_1}{\mathcal{R}_1 \mathcal{R}_2 + \mathcal{R}_1 \mathcal{R}_3 + \mathcal{R}_2 \mathcal{R}_3} & \frac{N_3(\mathcal{R}_1 + \mathcal{R}_2)}{\mathcal{R}_1 \mathcal{R}_2 + \mathcal{R}_1 \mathcal{R}_3 + \mathcal{R}_2 \mathcal{R}_3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \end{bmatrix}$$

Bu denklem toplam akı ve akımlar cinsinden yazılabilir.

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

$$\Delta = R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3$$

Birinci satır N_1 ikinci satır N_2 , üçüncü satır N_3 'e göre.

$$\begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \lambda_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{11} & L_{12} & L_{13} \\ L_{21} & L_{22} & L_{23} \\ L_{31} & L_{32} & L_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \end{bmatrix}$$

Bu tanımdan yararlanarak endüktans matrisi kolayca yazılabilir.

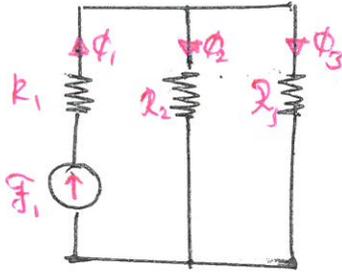
$$[L] = \begin{bmatrix} \frac{N_1^2(R_2+R_3)}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3} & \frac{N_1 N_2 R_3}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3} & \frac{N_1 N_3 R_2}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3} \\ \frac{N_2 N_1 R_3}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3} & \frac{N_2^2(R_1+R_3)}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3} & \frac{-N_2 N_3 R_1}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3} \\ \frac{N_3 N_1 R_2}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3} & \frac{-N_2 N_3 R_1}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3} & \frac{N_3^2(R_1+R_2)}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3} \end{bmatrix}$$

Endüktans matrisini sayısal olarak yazalım

$$\begin{bmatrix} L_{11} & L_{12} & L_{13} \\ L_{21} & L_{22} & L_{23} \\ L_{31} & L_{32} & L_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4.545 \times 10^{-3} & 2.727 \times 10^{-3} & -5.455 \times 10^{-3} \\ 2.727 \times 10^{-3} & 16.55 \times 10^{-3} & -5.455 \times 10^{-3} \\ 5.455 \times 10^{-3} & -5.455 \times 10^{-3} & 24.55 \times 10^{-3} \end{bmatrix}$$

b) Toplamsallık ilkesini magnetik devreye uygulayalım.

$i_2 = 0$ ve $i_3 = 0$ alalım



Şekil: $i_2 = 0$ ve $i_3 = 0$ alınarak çizilen eşdeğer devre den yararlanarak L_{11} 'i bulalım.

$$\Phi_1 = \frac{F_1}{R_1 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}}$$

$$L_{11} = \frac{N_1 \Phi_1}{i_1}$$

$$\Phi_1 = \frac{N_1 \cdot i_1 \cdot (R_2 + R_3)}{R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3}$$

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

L_{12} 'yi hesaplayalım.

$$\Phi_2 = \frac{F_1}{R_1 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}} \cdot \frac{R_3}{R_2 + R_3}$$

$$L_{12} = \frac{N_2 \Phi_2}{i_1}$$

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

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

L_{13} 'yi bulalım

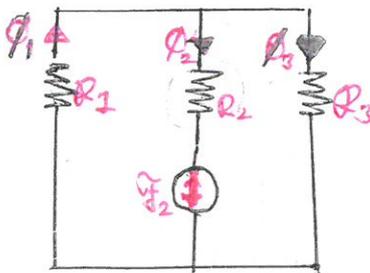
$$\Phi_3 = \frac{F_1}{R_1 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}} \cdot \frac{R_2}{R_2 + R_3}$$

$$L_{13} = \frac{N_3 \Phi_3}{i_1}$$

$$\Phi_3 = \frac{N_1 \cdot i_1 \cdot R_2}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}$$

$$L_{13} = \frac{N_1 N_3 R_2}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}$$

Şekilde $i_1 = 0$ ve $i_3 = 0$ olarak eşdeğer devreyi çizelim



Şekilden yararlanarak L_{22} 'yi bulalım

$$\Phi_2 = \frac{F_2}{R_2 + \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_3}}$$

$$L_{22} = \frac{N_2 \Phi_2}{i_2}$$

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

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

L_{21} 'i bulalım

$$\Phi_1 = \frac{N_2}{R_2 + \frac{R_1 R_3}{R_2 + R_3}} \cdot \frac{R_3}{R_3 + R_1}$$

∴ $L_{12} = \frac{N_1 \Phi_1}{i_2}$

$$\Phi_1 = \frac{N_2 \cdot L_2 \cdot R_3}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}$$

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

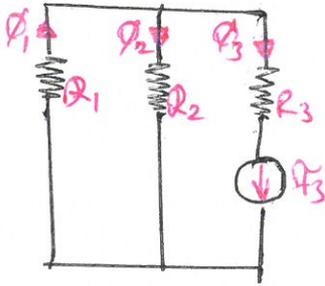
L_{23} 'ü bulalım

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

∴ $L_{23} = \frac{N_3 \Phi_3}{i_2}$

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

∴ $L_{23} = \frac{N_2 \cdot N_3 \cdot R_3}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}$



Şekilde; $i_1 = 0$ ve $i_2 = 0$ alınarak
çizilen eşdeğer devre
Bağut - simetri
(Henry)

Şekilden yararlanarak L_{33} 'ü bulalım

$$\Phi_3 = \frac{N_3}{R_3 + \frac{R_2 R_1}{R_2 + R_1}}$$

∴ $L_{33} = \frac{N_3 \Phi_3}{i_3}$

$$\Phi_3 = \frac{N_3 \cdot i_3 (R_1 + R_2)}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3}$$

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

Örüldeği gibi her iki yöntemde aynı sonucu ver-
mekteyiz.

$$F = \frac{B^2}{2\mu_0} A$$

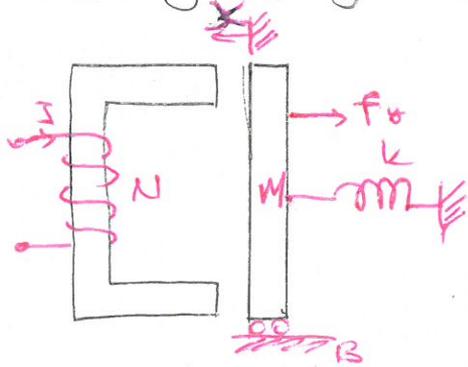
BÖLÜM - 3

MEKANİK SİSTEMLER

Mekanik sistemleri hareketin türüne göre iki kısma ayırırız.

- 1- Ötelemeli sistemler (Doğrusal Hareket)
- 2- Dönmeli sistemler.

Doğrusal sistemler: Doğrusal sistemler tam denklemlerini nasıl yazılacağını bir örnek üzerinde görelim



Not Mesafe azalınca direnç (mag) azalır.
Hareket (\leftarrow) yönünde

Hareketli parçaya etkiyen magnetik kökenli kuvvet akı yoğunluğu magnetik direncini azaltacak yöndedir. (ilende ispatlanacak)

Referans noktasının seçilmesi gerekir. Sistem için uygun referans noktası, hareketli sistemin, harekete başlamadan önce noktasını seçmek uygun olur

Fes Magnetik kökenli kuvvet (Endüklenen kuvvet)

M = Hareketli parçanın kütlesi

B = Hareketli sürtünme (dinamik sürtünme) katsayısı

k = yay sabiti

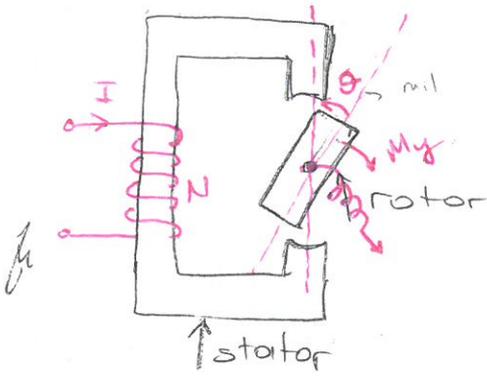
F_y = yük kuvveti

Alümin fonksiyonu

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

Newton denklemleri (Hareket denklemleri)

Dönmeli sistemler. Bunun da bir örneği aşağıda gösterilmiştir.



Hava aralığı büyük ise direnci büyük olur. Küçük ise direnci küçük olur. Bunun için buradaki rotorun hareketi sağdan sola doğrudur.

Dönmeli sistemde momentten M_g gelir. Hareket denklemini momentte göre yazılır.

M_e = Endüklenen moment

$$\sigma = A \cdot i$$

J = Eylemsizlik momenti

k = Yay sabiti

B = Hareketli sürtüme katsayısı

M_y = Yük momenti

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

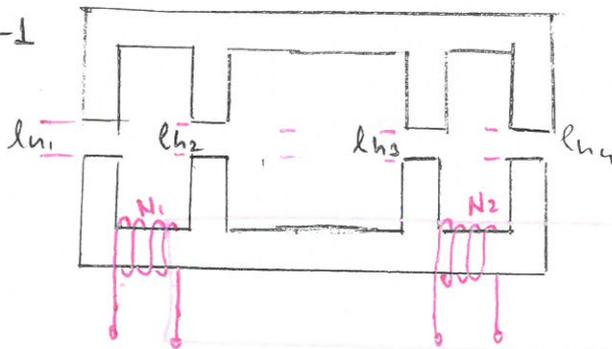
$$\omega = \frac{d\theta}{dt}$$

$\omega = 20 (1 - e^{-t/5})$ sürekli durumda hızı $\omega = 20$ rad/s. $t \rightarrow \infty$ iken $e^{-t/5} = 0$ dur.

→ Frenleme halinde M_e yerine $-M_e$ alınır.

ÇÖZÜM

SORU-1



Şekilde gösterilen iki uyartımlı magnetik sistemin her yerinde aynı 20 cm^2 dir. Sargıların sarım sayısı n $N_1 = 150$ $N_2 = 200$ dir.

Hava aralıklarının boyları ise $l_1 = 1 \text{ mm}$ $l_2 = 4 \text{ mm}$

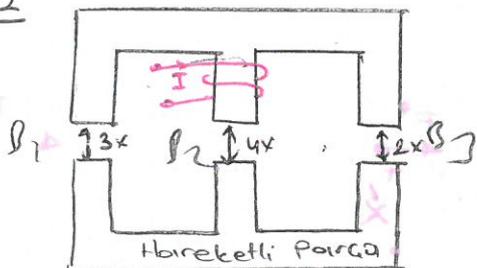
$l_3 = 3 \text{ mm}$ $l_4 = 2 \text{ mm}$ 'dir. Malzemin basit magnetik geçir-

genliği sonsuz büyüle karak akılar ve hava aralığındaki sapmalar yok sayılabilecek kadar küçüktür. Sargıların endüksiyonu ve ortak endüksiyonu

a) Gevce yöntemiyle

b) Toplamsallık ilkesiyle bul.

SORU-2



şekilde gösterilen elektromekanik dönüştürücünün kesiti her yerde aynı 10 cm^2 'dir. Sargının sarım sayısı 4000 ve içinden geçen

akım 10 A 'dir. Hareketli parçaya etkiyen kuvvet 250 N ' olduğuna göre X ne kadardır.

Başlığın magnetik geçirgenliği $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$.

Teslim tarihi: 25/11/1997

BÖLÜM - 4

ELEKTROMEKANİK SİSTEMLER

Elektromekanik sistemler günlük hayatta sık sık karşılaştığımız sistemlerdir. Örneğin kapı otomatları, motor, hoparlör v.s gibi

Elektromekanik dönüştürücülerin incelenmesinde iki farklı yöntem kullanılır

1) Homojen koordinatlarda Lagrange denk çözümü

2) Enerjinin sakınımı ilkesinden yararlanarak, çözümü

Bu derste takip edilecek yöntem 2'ci sidiir ilk ilkesi

Enerjinin Sakınımı ilkesi

Enerjinin sakınımı ilkesi basitçe aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

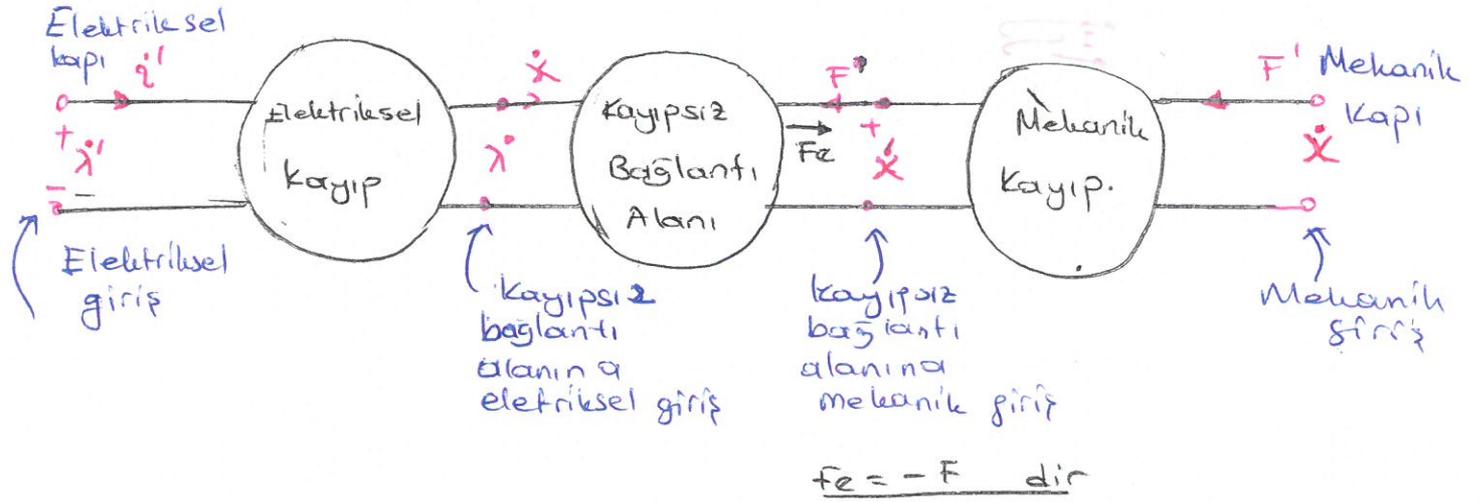
$$\begin{bmatrix} \text{Giren} \\ \text{Elektrik} \\ \text{Enerji} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \text{Giren} \\ \text{Mekanik} \\ \text{Enerji} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{sisteminde} \\ \text{Depo edilen} \\ \text{enerji deler} \\ \text{artır} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \text{ısı ya} \\ \text{Dönüşen} \\ \text{enerji} \end{bmatrix}$$

vaya

2.6

$$\begin{bmatrix} \text{Giren} \\ \text{Elektrik} \\ \text{Enerjisi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Yapılan} \\ \text{Mekanik} \\ \text{iş} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \text{Sistemde} \\ \text{depo edilen} \\ \text{enerji} \\ \text{deki} \\ \text{artış} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \text{Isiya} \\ \text{Dönüştürülen} \\ \text{enerji} \end{bmatrix}$$

Bir Elektromekanik sistemin Ögelerinin Belirlenmesi



→ Kayıpsız kısıma ilişkin enerji denklemini yazalım.

$$\underbrace{f_e \cdot dx}_{\text{Mekanik enerji girişi}} + \underbrace{v i dt}_{\text{Elektriksel enerji girişi}} = \underbrace{dW_m}_{\text{Depo edilen enerjideki artış}}$$

Bu ifadeyi yeniden yazarsak

$$f_e \cdot dx = -dW_m + v i \cdot dt$$

$v = \frac{d\lambda}{dt}$, yazarsak, Bu ifade;

$$f_e \cdot dx = -dW_m + i \cdot d\lambda$$

* şekline dönüştür.

Önemli Not: Bu aşamada enerji dönüşümü açısından çok önemli bir sorun olan bağımsız değişken seçimi, konusuyla karşı karşıya geldik.

$\lambda = \sin i + e^i \rightarrow$ Bağımsız değişken akım.

$i = \arctan(\lambda + 1) + \ln(\lambda^2 + 1) \rightarrow$ Bağımsız değişken akı

$\lambda = \beta i + 2 \rightarrow$ Her ikisi de olabilir

a-) Bağımsız Değişken Akım ise;

$\lambda = \lambda(i, x)$ olacaktır. Bunun tam dif. alırsak.

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

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

$$\rightarrow dW = \frac{\partial W/m}{\partial i} \cdot di + \frac{\partial W/m}{\partial x} \cdot dx$$

bu denklemi (*) denkleminde yerine koyarsak

$$F_e \cdot dx = \left(-\frac{\partial W/m}{\partial x} + i \cdot \frac{\partial \lambda}{\partial x} \right) \cdot dx + \left(-\frac{\partial W/m}{\partial i} + i \cdot \frac{d\lambda}{dt} \right) di$$

$$F_e = -\frac{\partial W/m}{\partial x} + i \cdot \frac{\partial \lambda}{\partial x}$$

b-) Bağımsız Değişken Akı ise;

$$W/m = W/m(\lambda, x) \quad \text{veya;}$$

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

Bu ifade (*) denkleminde girilirse

$$F_e dx = -\frac{\partial W/m}{\partial x} dx - \frac{\partial W/m}{\partial \lambda} d\lambda + i d\lambda$$

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

Özel Hall (Döğrusal Durum)

I. Durum) $\lambda = L(x) \cdot i$

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

II. Durum.

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

$$W/m = \frac{1}{2} R(x) \cdot \phi^2$$

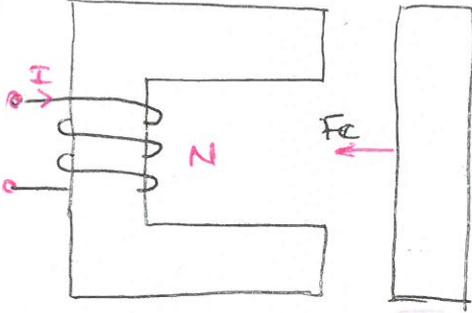
$$F_e = \frac{i^2}{2} \cdot \frac{dL}{dx}$$

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

$L = i + x \rightarrow$ Doğrusal olmayan bir sistem olduğu için sadece ①'i kullanabiliriz.

Bunu ③'de kullanamayız. Çünkü doğrusal olmayan bir şeyi doğrusal olan bir durumda kullanamayız.

Yorum



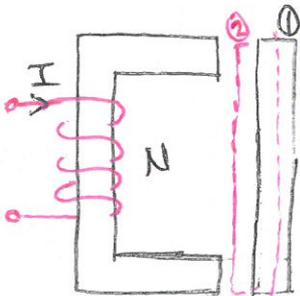
* Aşağıdaki yorumlar tek uyarımlı sistemler için geçerlidir.

- ① Akı ve akımın yönü değiştiğinde kuvvetin yönü değişmez. (Doğrusal bir sistem için geçerli)
- ② Kuvvet manyetik direnci azaltacak yönde etki eder.

$$F_e = - \frac{\Phi^2}{2} \left(\frac{dR}{dx} \right)$$
- ③ Kuvvet endüktansı artıracak yönde etki eder.

$$F_e = \frac{\Phi^2}{2} \left(\frac{dL}{dx} \right)$$

Acma Kapama Olayları

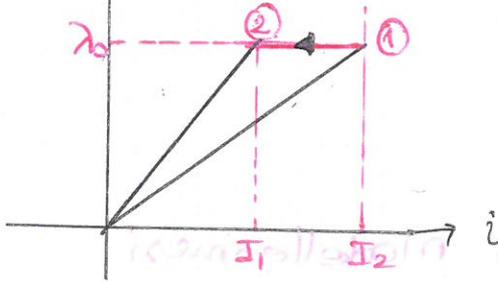


Hareketli parçanın hareket etmesiyle oluşan olaya acma kapama olayları adını veririz. Acma kapama olayları üç farklı şekilde düşebilir.

- ① Çok hızlı değişen olaylar
- ② Çok yavaş değişen olaylar
- ③ Ne kadar hızlı ne de o kadar yavaş değişen olaylar

1) Gok Hızlı Değişen Olaylar Çok hızlı değişen olaylarda olay süresince akım sabit olduğu varsayılır.

I. Durum (Akı sabit)



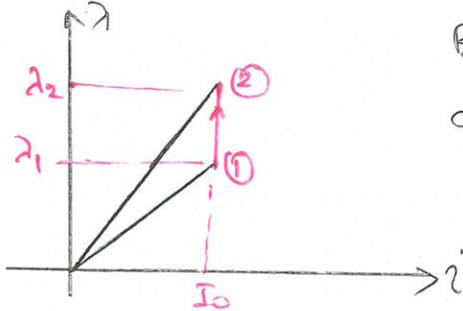
$$\alpha = \frac{d\lambda}{dt} \Rightarrow \frac{d\lambda_0}{dt} = 0$$

$$P = U \cdot i(t) \Rightarrow P = 0 \cdot i(t)$$

$$P = 0 \text{ dir}$$

akı sabit olduğundan endüktif gerilim $\frac{d\lambda}{dt} = 0$ dir. ve çekilen güç akım değişken olmasına rağmen 0'dır.

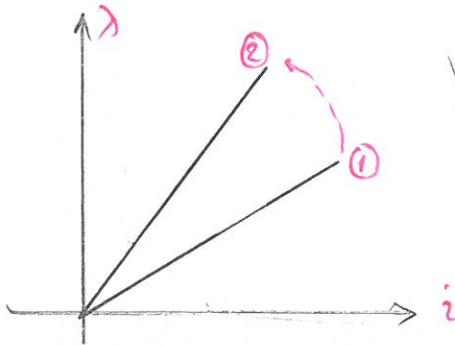
2) Durum (Akım sabit) Çok Yavaş Değişen Olaylar.



Bu durumda güç sıfırın farklı alır. λ değişken $e = \frac{d\lambda}{dt}$

$$P = U \cdot i \Rightarrow$$

3) Ne kadar hızlı Ne de "Yavaş Değişen Olaylar"



MATEMATİKSEL MODELLEME

Mühendislikte problemlerin çözümünde matematiksel modellemeye sık sık kullanılır bir yöntemdir. Matematiksel modelleme yapılırken genellikle modelin yapıları dikkatle alınır ve çözümün kalitesi artırılır. Bilimsel gereklidir. Daha sonra birtakım varsayımlar yapılır. Yapılan varsayımlar genellikle

sistem denklemleri geliştirilir. Eğer çözüm elde sonuçlarıyla yeterli kadar yolunsa model yeterli sayılır. Aksi halde varsayımlardan biri veya birkaçını kaldırarak daha karmaşık modellere geçilir. Enerji mühendisliğinde %10 luk hata kabul edilebilir bir hatadır.

Elektromekanik Sistemlerin Modellenmesi

Elektromekanik sistemin matematiksel modellenmesi 5 farklı aşamada yapılır.

- 1) Fiziksel Sistemin Tanınması: Bu aşamada sistemi modelleyecek mühendis o sistemi iyi tanımalıdır.
- 2) Basitleştirici Varsayımlar Elektromekanik sistemlerde birkaç basitleştirici varsayım yapılır. Kacışık akuların olmadığı $M \rightarrow \infty$ olduğu gibi.
- 3) Parametrelerin Belirlenmesi Modelin parametreleri belirlenmesi müddetce model mühendislik açısından önem taşır. Parametreleri ölçülemeyen bir model mühendislik açısından önem taşınmaz. Modelin parametreleri ölçülebilmeli ve ölçme işlemi hassas bir biçimde yapılmalıdır.

4-) Elektriksel ve Mekaniksel Denk Yazılması

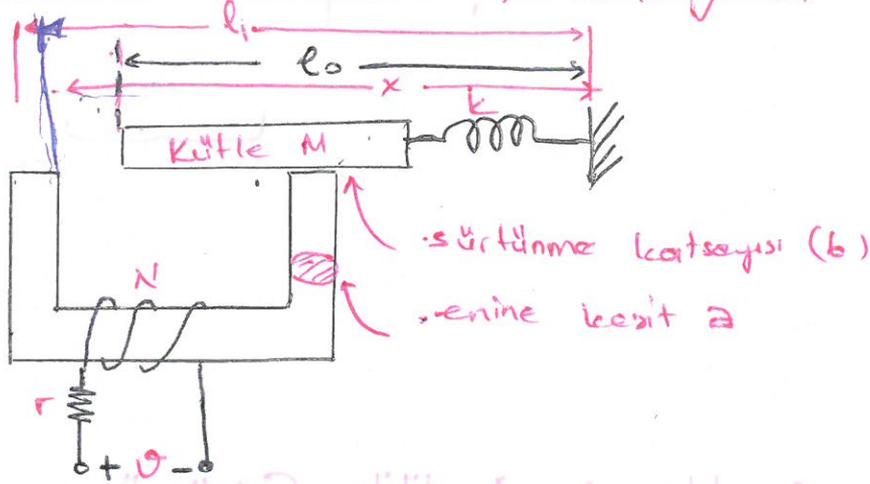
Elektriksel ve mekaniksel denklemler yazılmasını biliyoruz. İlk hangi terim sabit hangi terim değişken diye kat etmek gerekir.

5-) Denklemlerin Çözümü

Denklemlerin çözümü

- 1) Grafik Yöntem
 - 2) Analitik
 - 3) Sayısal
- olabilir.

Hareket Denkleminin formülasyonu



Matematiksel modellemenin nasıl yapılacağını örnek üzerinde görelim

- ① Varsayımlar: Magnetik malzemenin ideal olduğunu başka bir deyişle magnetik malzemenin bağıl geçirgenliğinin sonsuz olduğunu varsayalım. Aklı kaçaqlarını ve akı sızımalarını göz ardı edelim. Sürtünme kuvvetini hızla doğru orantılı yay kuvvetinin ise uzama ile doğru orantılı olduğunu varsayalım.

② Parametreler

Mekanik parametreler

M : kütle

b : sürtünme katsayısı

k : yay sabiti

Elektriksel Parametreler

r = direnç

L = Endüktans

$$L = \frac{\mu_0 \cdot a \cdot N^2}{l_1 - x} = \frac{A}{c + x}$$

burada:

$$A = \mu_0 \cdot a \cdot N^2$$

$$c = -l_1$$

$$R_m = \frac{l_1 - x}{\mu_0 a}$$

③ Hareket Denklemleri

a) Elektriksel Denklemler

$$r \cdot i + \frac{d}{dt} (L \cdot i) = U$$

b) Mekanik Denklemler

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

Önemli Not

L : Değişken olduğu için hareketin dışına alınmaz

İrdeleme:

Transfrm. Gerilimi

$$\frac{d}{dt} (L \cdot i) = L \cdot \frac{di}{dt} + i \cdot \frac{dL}{dt} = L \cdot \frac{di}{dt} + i \cdot \frac{dL}{dx} x'$$

Hareket Gerilimi
(Hız'dan dolayı)

$$\frac{i^2 \cdot dL}{2 \cdot dx} = \frac{i^2}{2} \cdot \frac{d}{dx} \left(\frac{A}{c+x} \right) = -\frac{i^2}{2} \frac{A}{(c+x)^2}$$

(Bu terim doğrusallığı bozar → Non linear'dır)

Hareket Denkleminin Analitik Çözümü

Hareket denk yeniden yazalım.

$$L \frac{di}{dt} + i \cdot \frac{dL}{dx} x' + r \cdot i = \mathcal{U} \cdot h$$

$$Mx'' + bx' + k(x-l_0) = \frac{N_0 \cdot a \cdot N^2 \cdot i^2}{2(x-l_1)^2}$$

Bu denklemlerin analitik çözümleri son derece zordur. Küçük genlikli titreşimleri için kararlı bir noktaya etrafında çözüm yapılır.

Doğrusallaştırma şu şekilde yapılır

$$\mathcal{U}(t) = \mathcal{U}_0 + \mathcal{U}_1(t)$$

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

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

$I_0, \mathcal{U}_1, I_0, X_0, i_1, X_1, \mathcal{U}_0, X_0, i_1, X_1$
 ihmal ihmal ihmal

Sabit bir çalışma noktası etrafında küçük genlikli değişimlerin birinci mertebeden terimleri alınır. İkinci ve daha yüksek merteden terimler alınmaz.

Bütün bunların ışığında nonlinear terimlerin yeniden inceleyelim;

$$L = \frac{N_0 \cdot a \cdot N^2}{l_1 - x}$$

$$= \frac{N_0 \cdot a \cdot N^2}{l_1 - x_0 - x_1}$$

$$L = L_0 \left(\frac{1}{1 - x_1 / (l_1 - x_0)} \right)$$

$$= L_0 \cdot \left(1 - \frac{x_1}{l_1 - x_0} \right)^{-1}$$

33

Burada $L_0 = \left[\mu_0 a N^2 / (l_1 - x_0) \right]$ dir. itad-eyi
binom serisine açalım

$$L = L_0 \left[1 + \frac{x_1}{l_1 - x_0} + \left(\frac{x_1}{l_1 - x_0} \right)^2 + \left(\frac{x_1}{l_1 - x_0} \right)^3 + \dots \right]$$

Düger yandan;

$$\frac{\partial L}{\partial x_1} = \frac{L_0}{l_1 - x_0} \left[1 + \frac{2x_1}{l_1 - x_0} + 3 \left(\frac{x_1}{l_1 - x_0} \right)^2 + \dots \right]$$

Bu son iki bağıntıyı linearleştirelim.

$$L \approx L_0 \left(1 + \frac{x_1}{l_1 - x_0} \right) \quad \frac{\partial L}{\partial x_1} \approx \frac{L_0}{l_1 - x_0} \left(1 + \frac{2x_1}{l_1 - x_0} \right)$$

Toplam akı için

$$\lambda = L \cdot i \approx L_0 \left(1 + \frac{x_1}{l_1 - x_0} \right) (I_0 + i_1)$$

$$\approx L_0 I_0 + L_0 i_1 + \frac{L_0 I_0}{l_1 - x_0} \cdot x_1 \quad (x_1 i_1 \text{ gözardı edildi})$$

$$\frac{d}{dt} (L \cdot i) \approx L_0 \cdot \frac{di_1}{dt} + \frac{L_0 I_0}{l_1 - x_0} \dot{x}_1$$

$$r \cdot i = r I_0 + r i_1$$

Bu değerleri hareketin elektriksel denkleminde yazalım.

$$L_0 \cdot \frac{di_1}{dt} + r i_1 + \frac{L_0 I_0}{l_1 - x_0} \dot{x}_1 + r I_0 = \mathcal{U}_1 + \mathcal{U}_0$$

Sürekli rejimde veya DC'da çalışma noktası için.

$$r I_0 = \mathcal{U}_0$$

Çalışma noktası etrafındaki elektriksel dinamik

için;

$$L_0 \frac{di_1}{dt} + r i_1 + \frac{L_0 I_0}{l_1 - x_0} \dot{x}_1 = \mathcal{U}_1$$

Bu hareketin denkleminin linearleştirilmiş halidir.

şimdi de hareketin mekanik denkleminin sağ

tarafıyla ilgileneelim;

$$i^2 = (I_0 + i_1)^2 = I_0^2 + 2 I_0 i_1 + i_1^2 \approx I_0^2 + 2 I_0 i_1$$

(i_1^2 ihmal edildi)

Buradan

$$\frac{1}{2} \cdot \dot{z}^2 \frac{dL}{dx} \approx \frac{1}{2} \cdot (\bar{I}_0^2 + 2 \bar{I}_0 \dot{z}_1) \cdot \frac{L_0}{l_1 - x_0} \left(1 + \frac{2x_1}{l_1 - x_0} \right)$$

$$\frac{1}{2} \cdot \dot{z}^2 \frac{dL}{dx} = \frac{L_0 \cdot \bar{I}_0^2}{2(l_1 - x_0)} + \frac{L_0 \cdot \bar{I}_0}{l_1 - x_0} \cdot \dot{z}_1 + \frac{L_0 \cdot \bar{I}_0^2}{(l_1 - x_0)^2} \cdot x_1 \left. \vphantom{\frac{1}{2} \cdot \dot{z}^2 \frac{dL}{dx}} \right\} \\ (\dot{z}_1, x_1 \text{ ihmal edildi})$$

Bunu hareketin mekanik denkleminde yerine yazalım.

$$M \ddot{x}_1 + b \dot{x}_1 + k x_1 + k(x_0 - l_0) = \frac{L_0 \bar{I}_0^2}{2(l_1 - x_0)} + \frac{L_0 \bar{I}_0}{l_1 - x_0} \cdot \dot{z}_1 + \frac{L_0 \bar{I}_0^2}{(l_1 - x_0)^2} \cdot x_1$$

sürekli rejimde mekanik dengenin noktası

$$k(x_0 - l_0) = \frac{L_0 \cdot \bar{I}_0^2}{2(l_1 - x_0)} \text{ ile verilmiştir.}$$

Ohalde mekanik dinamik lineerize edilmiş denklem elde edilebilir.

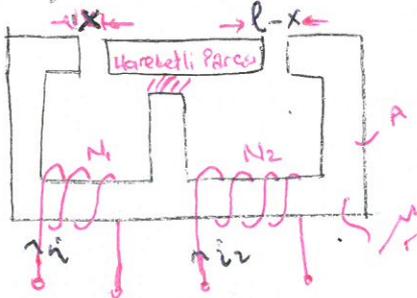
$$M \ddot{x}_1 + b \dot{x}_1 + \left[k - \frac{L_0 \cdot \bar{I}_0^2}{(l_1 - x_0)^2} \right] x_1 = \frac{L_0 \cdot \bar{I}_0}{l_1 - x_0} \dot{z}_1$$

Gök Uyarılı Sistemlerde Kuvvet ve Moment

Gök uyarılı sistemlerde hesap

yapıdan kuvvetin yönünü söyleyemeyiz

$$\left. \begin{aligned} \lambda_1 &= L_{11} \dot{z}_1 + L_{12} \dot{z}_2 \\ \lambda_2 &= L_{21} \dot{z}_1 + L_{22} \dot{z}_2 \end{aligned} \right\} [\lambda] = [L] \cdot [\dot{z}]$$



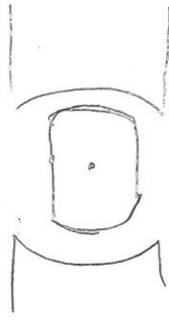
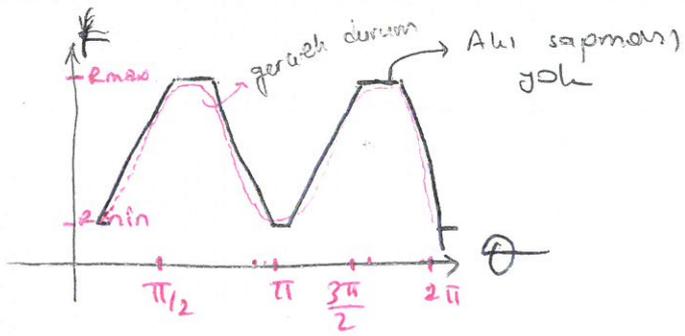
$$\left. \begin{aligned} F_1 &= Z_{11} \phi_1 + Z_{12} \phi_2 \\ F_2 &= Z_{21} \phi_1 + Z_{22} \phi_2 \end{aligned} \right\} [F] = [Z] [\phi]$$

$$W = \frac{1}{2} [\dot{z}]^t [L] [\dot{z}]$$

$$W = \frac{1}{2} [\phi]^t [Z] [\phi]$$

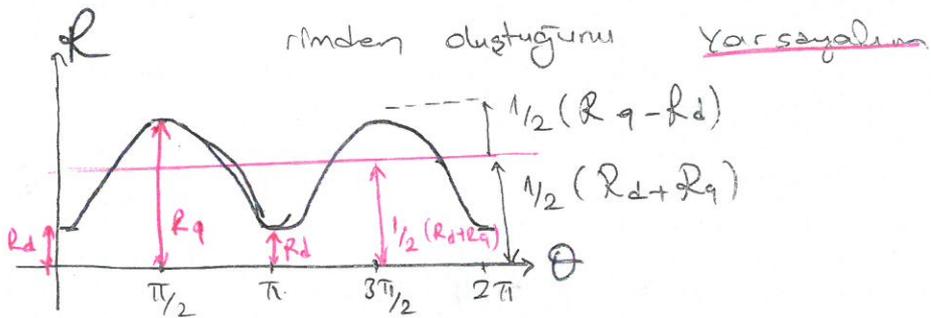
Depo edilen enerji

Hareketin doğrusal olması durumunda kuvvet ifadesi



Periyodik olması nedeniyle Fourier serisine ayrılır.
Fourier serisinde ilk iki terimi göz önüne alalım

Magnetik direncin Fourier serisine ayrılmasının bir sabit değeriyle değişkenleri te-



$$R(\theta) = \frac{1}{2} (R_d + R_q) - \frac{1}{2} (R_q - R_d) \cdot \cos 2\theta$$

→ Kaynaktan geçen gerilimin sinusoidal olduğunu düşünelim.

$$V = V_m \cdot \cos \omega t \quad \text{ise } v_e \text{ sergi direncinin ihmal edilebilir kadar küçük olduğunu varsayalım}$$

$$V \approx e = N \frac{d\phi}{dt} \Rightarrow \phi = \phi_m \cdot \sin \omega t \quad \text{olur.}$$

Momentin ortalama değeri sıfır dursa yöre güç aktaramaz. Ortalama değeri mutlaka sıfır dan farklı olmalıdır ki yöre güç aktarabilsin.

$$M_e = -\frac{1}{2} \phi_m^2 \cdot \frac{dR}{d\theta}$$

* Momentin ortalama değeri sıfırdan farklı ise motor döner

→ Kareli terimlerden ve sinuslu terimlerden oluşmaya çalışalım.

$$M_e = \frac{1}{4} \phi_m^2 (R_q - R_d) \cdot (\sin 2\theta - \sin 2\theta \cdot \cos \omega t)$$

$$M_e = \frac{1}{4} \phi_m^2 (R_q - R_d) \cdot \left\{ \sin 2\theta - \frac{1}{2} [\sin 2(\omega t + \theta) + \sin 2(\theta - \omega t)] \right\}$$

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

$$M_e = -\frac{1}{4} \phi^2 (R_q - R_d) \left[\sin 2(\omega_m t + \delta) - \frac{1}{2} \left\{ \sin 2[(\omega + \omega_m)t + \delta] + \sin 2[(\omega - \omega_m)t + \delta] \right\} \right]$$

→ Sabit bir acının ortalama değeri sabittir. (sinin ortalaması)

$$\omega = \mp \omega_m \quad (\text{Budurumda ortalama değeri sıfırdan farklı olur.})$$

$$|\omega| = |\omega_m| \quad \uparrow$$

$$M_e = \frac{1}{8} \phi_m^2 (R_q - R_d) \sin 2\delta \quad \rightarrow \text{ortalama değeri}$$

ÖRNEK PROBLEM

Rotoru sargısız relüktans motorunun, alüminyumun magnetik direnci $R = 5 \times 10^4 (2,5 + 1,5 \cos 2\theta)$ A/W'dir. Sargının sarımsayısı 30'dur. Ve sargı direnci yak var sayılabilecek kadar küçüktür. Motor sargı sıklık $\frac{220V}{\sqrt{2}}$ 50 Hz'lik şebekeye bağlanması durumunda

a) Makine ikindeki alümin ifadesini bulunuz.

b) Makinenin gsa üretebilmesi için hangi hızla dönmesi gerekir

c) Motorun üretebileceği ort. momentin max değerini bulunuz

d) c. şikundaki durumda giriş gücü ne olur.

Çözüm a) Faraday yasasından yararlanalım

$$v = N \frac{d\phi}{dt}$$

$$\frac{220\sqrt{2}}{\sqrt{2}} \cos 100\pi t = 30 \frac{d\phi}{dt} \Rightarrow \phi = 33,01 \times 10^{-3} \sin 100\pi t$$

$$b) M_e = -\frac{1}{2} \phi^2 \cdot \frac{dR}{d\theta}$$

$$M_e = + (33,01 \times 10^{-3})^2 \cdot \sin^2 100\pi t \left[5 \times 10^4 \times 3 \times \sin 2\theta \right]$$

$$M_e = + 81,92 \cdot \sin^2 100\pi t \cdot \sin 2\theta$$

$$M_e = + 40,86 (1 - \cos 200\pi t) \cdot \sin 2(\omega_m t + \delta)$$

$$M_e = -40,86 \cdot [-\sin 2(\omega_m t + \delta) + \cos 200\pi t \cdot \sin 2(\omega_m t + \delta)]$$

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

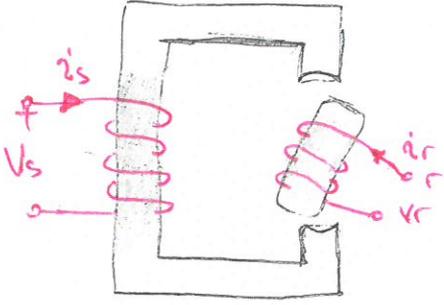
$$M_e = -40,86 \left\{ -\sin 2(\omega_m t + \delta) + \frac{1}{2} \cdot \sin 2[(100\pi - \omega_m)t - \delta] - \frac{1}{2} \sin 2[(100\pi + \omega_m)t + \delta] \right\}$$

$$\omega_m = \mp 100\pi \text{ rad/s}$$

e) $M_{e, \text{ort}} = 20,43 \cdot \sin 28$ Bunun max degeri
 $20,43 \text{ Nm}$ dir.

d) $P = M \cdot \omega = 20,43 \times 100\pi = 6,418 \text{ kW}$

~ Rotoru Sargılı Relüktans Motoru ~



Optimizasyon

Rotoru

Bir den fazla uyarılı sisteme tipik dırneliktir. Rotora sarğı sarılmaması n amacı motordan alınan güç artır

maliktir.

$$\lambda_s = L_{ss} \cdot i_s + L_{sr} \cdot i_r \quad r = \text{rotor}$$

$$\lambda_r = L_{sr} \cdot i_s + L_{rr} \cdot i_r \quad s = \text{stator.}$$

$$M_e = \frac{i_s^2}{2} \cdot \frac{dL_{ss}}{d\theta} + \frac{i_r^2}{2} \cdot \frac{dL_{rr}}{d\theta} + i_s \cdot i_r \cdot \frac{dL_{sr}}{d\theta}$$

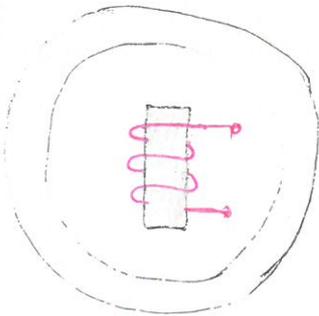
$$L_{ss} = L_{s0} + L_{s2} \cos 2\theta$$

$$L_{rr} = L_{r0} + L_{r2} \cos 2\theta$$

$$L_{rs} = L_{sr} \cos \theta$$

ÖZEL DURUMLAR

4) Rotoru Çukuk statoru Huarlak Makina

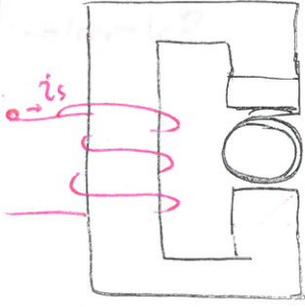


rotorlar konumunda hava aralığı aynıdır. Dolayısıyla direnci aynıdır. Ve L endüktansı değişmez, θ ya bağı değildir.

$$L_{rr} = \text{sbt}$$

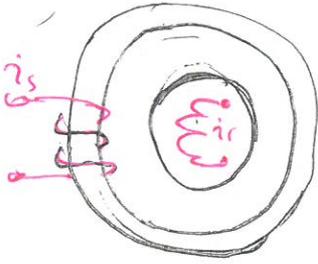
$$M_e = \frac{i_s^2}{2} \cdot \frac{dL_{ss}}{d\theta} + i_s \cdot i_r \cdot \frac{dL_{sr}}{d\theta}$$

2-) Rotoru silindirik Statoru çukuk Makina
 $L_{ss} = \text{sabit}$



$$M_e = \frac{i_r^2}{2} \frac{dL_{rr}}{d\theta} + i_s i_r \frac{dL_{sr}}{d\theta}$$

3) Rotoru ve Statoru (Yunuslar) silindirik Makina*



$$L_{ss} = \text{sabit}$$

$$L_{sr} = \text{sabit}$$

$$M_e = i_s i_r \frac{dL_{sr}}{d\theta} **$$

$$L_{ss} = \delta H$$

$$L_{rr} = 2 + 3 \cos \theta$$

$$L_{sr} = \cos \theta \quad (\text{Rotoru silindirik statoru çukuk}) **$$

- BÖLÜM - 4 -

COENERJİ (Tümleyen Enerji)

Co-enerji tümleyen enerji anlamına gelir. Tümleyen enerji aynı tepkin güte olduğu gibi fiziksel anlamı olmayan ancak fiziksel sistemlerin analizinde yararlanılan bir kavramdır. Elektromekanik sistemleri (gerdileleri) alan açısından iki kısma ayırabiliriz. Boyutu enerji boyutundadır.

1) Magnetik Alanla Dönüştürücüler

2) Elektriksel " " "

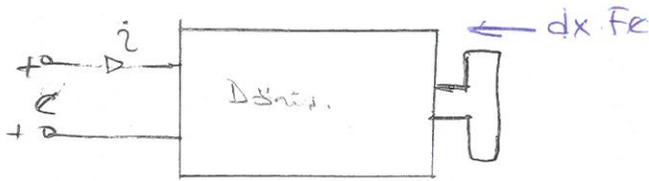
Elektromekanik dönüştürücülerini elektrik ve mekanik kapasite sayısına göre üç luoma ayırabiliriz

a) Bir Elektriksel ve Bir Mekanik Kapasiteli sistemden

b) Birden fazla Elektriksel ve Bir mekanik " " "

c) Birden fazla Elektriksel ve Birden Fazla Mekanik Kapasiteli olan sistem

a) Bir Elektriksel ve Bir Mekanik Kapısı olan Sistemler



Böyle bir sistem için güç ifadesini yazalım.

$$* \quad P(t) = i \cdot \frac{d\lambda}{dt}$$

$$** \quad dW_e = P(t) \cdot dt = i \cdot d\lambda \quad \text{Buradan}$$

$$dW = dW_e - dW_m = i \cdot d\lambda = F_e \cdot dx$$

$$** \quad \boxed{dW = i \cdot d\lambda - F_e \cdot dx} \quad ** \quad (\text{Enerji Denge Denklemi}) \\ (\text{EDD})$$

Bağımsız değişkenin tüm yada alı olmasını durumuna göre çözüm yolu değişir.

a) λ ve x 'in bağımsız değişken seçilme durumu

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

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

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

Enerji ifadesinin tam diferans alınır.

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

Bu ifadeyle enerji denge denklemini karşılaştıracağız.

$$F_e = - \frac{\partial W(\lambda, x)}{\partial x}$$

$$M_e = - \frac{\partial W(\lambda, \theta)}{\partial \theta} \quad (\text{Sistemimiz dönmeliyse})$$

b) İve x'in bağımsız değişken seçilmesi durumu

$$\left. \begin{aligned} \lambda &= \lambda(i, x) \\ W &= W(i, x) \\ F_c &= F_c(i, x) \end{aligned} \right\} \text{ Bunlara göre}$$

Aku ifadesinin tam diferansiyelini alınız.

$$d\lambda(i, x) = \frac{\partial \lambda(i, x)}{\partial i} \cdot di + \frac{\partial \lambda(i, x)}{\partial x} dx$$

Bunu enerji denge Denkleminde yerine yerle-
lim ve düzenleyelim.

$$dW = i \cdot \frac{\partial \lambda}{\partial i} \cdot di + \left[i \frac{d\lambda(i, x)}{dx} - F_c(i, x) \right] dx$$

Enerji ifadesinin tam diferansiyelini alalım

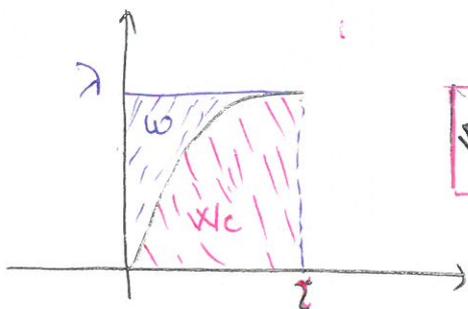
$$dW(x, i) = \frac{\partial W(x, i)}{\partial i} \cdot di + \frac{\partial W(x, i)}{\partial x} \cdot dx$$

Son iki ifadesi karşılaştıralım.

$$\frac{\partial W(x, i)}{\partial x} = i \cdot \frac{\partial \lambda(i, x)}{\partial x} - F_c(i, x)$$

F_c 'yi çözersek (dörtüncü leğere)

$$F_c = i \cdot \frac{\partial \lambda}{\partial x} - \frac{\partial W}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} [i \cdot \lambda(i, x) - W(x, i)]$$

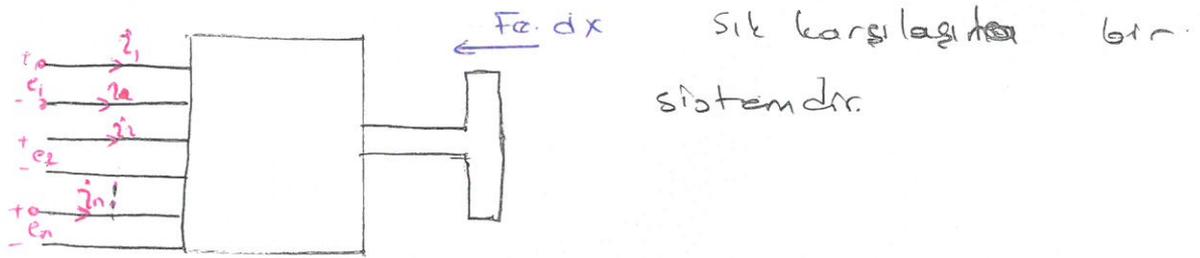


$$W_c = i \cdot \lambda - W \quad ***$$

$$*** F_c = + \frac{\partial W_c}{\partial x} \quad *** M_c = + \frac{\partial W_c}{\partial \theta}$$

** Doğrusal sistemlerde coenerji ile enerji eşittir
 $W_c = W$ 'di ($\lambda = 3i + 4$ gibi)

b) Birden Fazla Elektriksel, Bir Mekanik Kapısı olan Sistemler



Sisteme giren diferansiyel elektrik enerjisi

$$dW_e = q_1 d\lambda_1 + q_2 d\lambda_2 + \dots + q_n d\lambda_n$$

$$dW_{mek} = F_e \cdot dx$$

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

$$= q_1 d\lambda_1 + q_2 d\lambda_2 + \dots + q_n d\lambda_n - F_e \cdot dx \quad (E.D.D)$$

4) Altuların Bağımsız Değişken Seçilmesi Durumu.

Bu durumda enerji (W) in fonk olur.

$$W = W(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n, x) \quad \text{Bu ifade de tam}$$

diff'ini alalım.

$$dW(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n, x) = \frac{\partial W(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n, x)}{\partial \lambda_1} d\lambda_1 + \frac{\partial W(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n, x)}{\partial \lambda_2} d\lambda_2 + \dots + \frac{\partial W(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n, x)}{\partial \lambda_n} d\lambda_n + \frac{\partial W(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n, x)}{\partial x} dx$$

Bu ifade (E.D.D)'yle karşılaştırılarak;

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

$$** M_e = M_e(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n, \theta) = - \frac{\partial W(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n, \theta)}{\partial \theta} **$$

2) Atomların Bağımsız Değişken Seçilmesi Durumu

Atomların bağımsız değişken seçilmesi halinde

$$\lambda_i = \lambda(i_1, i_2, i_3, \dots, i_n, x)$$

$$\mathcal{X} = \mathcal{X}(i_1, i_2, \dots, i_n, x)$$

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

λ 'nin tam diferansiyelini alalım;

$$d\lambda(i_1, i_2, \dots, i_n, x) = \frac{\partial \lambda(i_1, i_2, \dots, i_n, x)}{\partial i_1} di_1 + \frac{\partial \lambda(i_1, i_2, \dots, i_n, x)}{\partial i_2} di_2$$

$$+ \dots + \frac{\partial \lambda(i_1, i_2, i_3, \dots, i_n, x)}{\partial i_n} di_n$$

$$+ \frac{\partial \lambda(i_1, i_2, \dots, i_n, x)}{\partial x} dx$$

$$= \sum_{j=1}^n \frac{\partial \lambda(i_1, i_2, \dots, i_n, x)}{\partial i_j} di_j + \frac{\partial \lambda(i_1, i_2, \dots, i_n, x)}{\partial x} dx$$

Bunun EDO'da yerine getirelim.

$$d\mathcal{X} = d\mathcal{X}/e - d\mathcal{X}/m = \sum_{i=1}^n i_i d\lambda_i + \sum_{i=1}^n i_i d\lambda_i - F_e dx$$

$$= \sum_{i=1}^n i_i \frac{\partial \lambda_i(i_1, i_2, \dots, i_n, x)}{\partial x} dx + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n i_j \frac{\partial \lambda_i(i_1, i_2, \dots, i_n, x)}{\partial i_j} di_j - \sum_{i=1}^n i_i d\lambda_i$$

$$- F_e(i_1, i_2, \dots, i_n, x) dx$$

Enerji ifadesinin tam diferansiyelini alalım.

$$d\mathcal{X}(i_1, i_2, \dots, i_n, x) = \sum_{j=1}^n \frac{\partial \mathcal{X}(i_1, i_2, \dots, i_n, x)}{\partial i_j} di_j + \frac{\partial \mathcal{X}(i_1, i_2, \dots, i_n, x)}{\partial x} dx$$

Son iki denkleminin birbirine eşitlenmesi

$$F_e(i_1, i_2, \dots, i_n, x) = \sum_{i=1}^n i_i \frac{\partial \lambda_i(i_1, i_2, \dots, i_n, x)}{\partial x} - \frac{\partial \mathcal{X}(i_1, i_2, \dots, i_n, x)}{\partial x}$$

$$= \frac{\partial}{\partial x} \left[\sum_{i=1}^n \lambda_i \lambda_i (i_1, i_2, \dots, i_n, x) - \mathcal{W}(i_1, i_2, \dots, i_n, x) \right]$$

Çok girişli sistem için CO-enerjiyi tanımlayalım

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

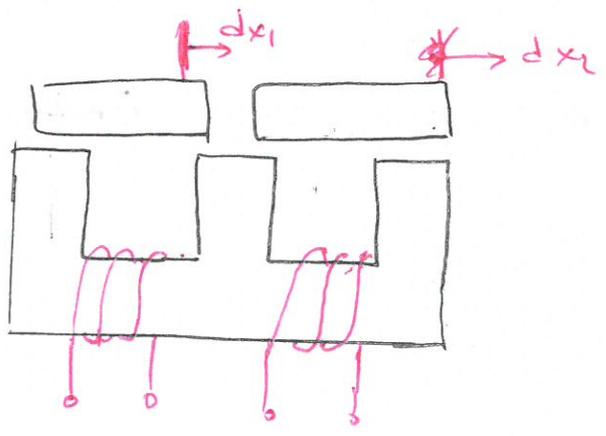
Buradan kuvvet ifadesi olarak;

$$F_x(i_1, i_2, \dots, i_n, x) = + \frac{\partial \mathcal{W}_c(i_1, i_2, \dots, i_n, x)}{\partial x}$$

Dönme hareketi yapan sistemler için benzer ifade;

$$M_\theta(i_1, i_2, \dots, i_n, \theta) = + \frac{\partial \mathcal{W}_c(i_1, i_2, \dots, i_n, \theta)}{\partial \theta}$$

C- Birden Fazla Elektriksel - Birden Fazla Mekanik Kapsülün Sistemler



İnceleme daha önce yaptığımız sisteme benzer
Ancak şu değişikliklerle

Dogrusal $d\mathcal{W}_{mek} = F_{e1} dx_1 + F_{e2} dx_2 + \dots + F_{en} dx_n$

Dönmeli $d\mathcal{W}_{mek} = M_{e1} d\theta_1 + M_{e2} d\theta_2 + \dots + M_{em} d\theta_m$

çalışır da;

Bağımsız değişkenlerin λ ' lar olması durumunda

$$F_{e1} = F_{e1}(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n, x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$$

$$= \frac{\partial W(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n, x_1, x_2, \dots, x_n)}{\partial x_1}$$

$$M_{e1} = M_{e1}(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n, \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m) = \frac{-\partial W(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n, \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m)}{\partial \theta_1}$$

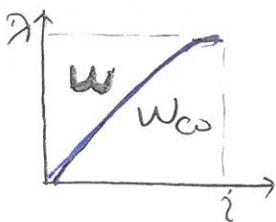
Bağımsız değişkenlerin i lerin olması durumu

$$F_{e1} = F_{e1}(i_1, i_2, \dots, i_n, x_1, x_2, \dots, x_m) = + \frac{\partial W(i_1, i_2, \dots, i_n, x_1, x_2, \dots, x_m)}{\partial x_1}$$

$$M_{e2} = M_{e2}(i_1, i_2, \dots, i_n, \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m) = - \frac{\partial W(i_1, i_2, \dots, i_n, \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m)}{\partial \theta_1}$$

**** Genel Kural** Bağımsız değişkenler (λ) alı ise enerji bulunur. Yer değişimine göre türev alınır. Kuvvet ve ya moment bulunur. İşaret negatif. tir (-)

Bağımsız değişkenler alın ise (i) (i) Co-Enerji bulunur yerdeğiş tirmeğe göre türev alınır. Kuvvet yada moment bulunmuş olur. İşaret pozitif (+)



$$x/c = \int_0^i \lambda \cdot di \quad \text{bulunur}$$

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

Hem öteleme ve hem de dönme varsa bu 1 durumda $\frac{\partial W}{\partial x} + \frac{\partial W}{\partial \theta}$ bulunur

d) Elektrik Alanlı Elektromekanik Sistemler

$$\left. \begin{aligned} \lambda &= L \cdot i \\ q &= C \cdot \vartheta \end{aligned} \right\}$$

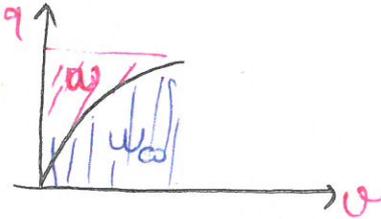
Bu tür sistem arasında benzerlik vardır.

Elektrik alanlı sistemler magnetik alanlı sistemlere benzetilerek çözülebilir.

$$\lambda \Leftrightarrow q$$

$$i \Leftrightarrow \vartheta$$

$$L \Leftrightarrow C$$



$$M_e = \frac{\vartheta^2}{2} \cdot \frac{dC}{d\theta}$$

$$F_e = \frac{\vartheta^2}{2} \cdot \frac{dC}{dx}$$

ÖRNEK PROBLEM:

Bir elektromekanik enerji dönüştürücüsünde $\lambda(i, x) = \frac{4(1 - e^{-2i})}{1 + x^2}$ bağıntısı geçerlidir.

Diyarım i sarı alımı i dönüştürücüsünün ötellemesi x 'le gösterilmiştir. $i = 0,5A$ olarak sabit kalırken $x_1 = 1m$ 'den $x_2 = 2m$ 'ye kadar bir öteleme olmaktadır. Buna göre a) sistemdeki enerji değişimini hesaplayınız.

b) Co-enerji ve kuvvet veren bağıntıları elde ediniz.

c) Kuvvetin $x_1 = 1m$ ve $x_2 = 2m$ 'deki değerlerini hesaplayınız.

d) Magnetik enerjiyle Co-enerji karşılaştırınız ve yorumlayınız.

çözüm

42

a) sistemde biriken enerji

$W = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} i \, d\lambda$ ile hesaplanabilir.

Toplam akı ile akım arasındaki ilişkiden akımın akı cinsinden çözülmesi;

$$1) \frac{\lambda(1+x^2)}{4} = e^{-2i} \quad \text{veya} \quad -2i = \ln \left[1 - \frac{\lambda(1+x^2)}{4} \right]$$

$$\text{buradan; } i = -\frac{1}{2} \cdot \ln \left[1 - \frac{\lambda(1+x^2)}{4} \right]$$

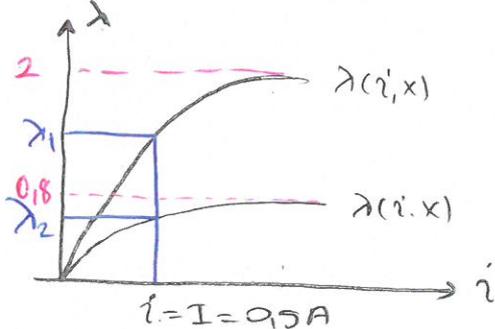
Bunu enerji ifadesinde yerine yazalım

$$W = -\frac{1}{2} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \ln \left(1 - \frac{\lambda(1+x^2)}{4} \right) d\lambda$$

Ancak bu integralin alınmasında zorluk vardır.

$x_1 = 1$ m'den $x_2 = 2$ m'ye kadar daha kolay bir

yoldan bulunabilir.



$x_1 = 1$ 'deki enerji $W(i, 1) = I \lambda_1 = \int_0^I \lambda(i, 1) di$
= $I \lambda_1 - \int_0^I 2(1 - e^{-2i}) \cdot di = I \lambda_1 - 2I + (1 - e^{-2I}) = 0,2641$ joule

$x_2 = 2$ 'deki enerji $W(i, 2) = I \lambda_2 - \int_0^I \lambda(i, 2) \cdot di$
= $I \lambda_2 - \int_0^I (1 - e^{-2i}) \cdot di =$
= $I \lambda_2 - \frac{4}{5} I + \frac{2}{5} (1 - e^{-2I}) = 0,1057$ joule

O halde sistemdeki enerji artışı

$$\Delta W = W(1,1) - W(1,2) = 0,1584 \text{ joule}$$

$$b) \quad W_c = \int_0^I \lambda(1,x) \cdot dI = \frac{4}{1+x^2} \left(I + \frac{1}{2} \cdot e^{-2I} - \frac{1}{2} \right) \text{ joule}$$

$$1, \quad \text{Kuvvet } F_c = \frac{\partial W_c}{\partial x} = \frac{-8x}{(1+x^2)^2} \left(I + \frac{1}{2} e^{-2I} - \frac{1}{2} \right) \text{ joule}$$

$$c) \quad F_c(0,5,1) = -0,3679 \text{ N}$$

$$F_c(0,5,2) = -0,1177 \text{ N}$$

d) $W_c \neq W$ olduğundan sistem doğrusal değildir.

ÖRNEK PROBLEM

iki elektrikli ve bir mekanik kapasite bulunan bir elektromekanik sistemin toplam enerji durum arasındaki ilişkisi aşağıda verilmiştir.

$$\lambda_1 = (1-x) i_1 - M i_2 + Kx$$

$$\lambda_2 = -M i_1 + (1+x) i_2 - Kx$$

a) Magnetik enerji ve co-enerji bulunuz

b) Bu sistem doğrusal mıdır. Değilse hangi koşullarda doğrusal olur

c) sistemin mekanik kapasiteye etki eden kuvveti bulunuz

a) n tane elektrikli kapasite ve m tane mekanik kapasite olan elektromekanik sistemler için co-enerjinin tanımını biliyoruz.

49

$$W_{co} = \sum_{i=1}^n \int_0^{z_i} \lambda_i (z_1, z_2, \dots, z_n, x_1, \dots, x_m) dz_i$$

Ancak sistemin kayıpsız sistem olması nedeniyle integrasyon yolu bağlı olmayıp sadece son değerler tarafından belirlenir.

Buradan yukarıdaki integrali daha basit yapmak mümkündür.

$$W_{lc} = \int_0^{z_1} \lambda_1 (z_1, 0, \dots, 0, x_1, \dots, x_m) dz_1 \\ + \int_0^{z_2} \lambda_2 (z_1, z_2, 0, \dots, 0, x_1, \dots, x_m) dz_2 \\ + \int_0^{z_n} \lambda_n (z_1, z_2, \dots, z_n, x_1, \dots, x_m) dz_n$$

Bu genel bağıntıyı problemdeli sisteme uygulayalım.

$$W_{lc} = \int_0^{z_1} \lambda_1 (z_1, 0, x) dz_1 + \int_0^{z_2} \lambda_2 (z_1, z_2, x) dz_2 \\ = \int_0^{z_1} [(1-x)z_1 + kx] dz_1 + \int_0^{z_2} [-Mz_1 + (1+x)z_2 - kx] dz_2 \\ = \frac{1}{2} (1-x) z_1^2 + kx z_1 - M z_1 z_2 + \frac{1}{2} (1+x) z_2^2 - kx z_2$$

b)

$$W_l = z_1 \lambda_1 + z_2 \lambda_2 = W_{lc} \\ = \frac{1}{2} (1-x) z_1^2 - M z_1 z_2 + \frac{1}{2} (1+x) z_2^2$$

$k=0$ için sistem doğrusaldır.

c) Bağımsız değişken tüm olduğu için W_{lc} 'nin x 'e göre türevini alacağız.

$$F_x = + \frac{\partial W_{lc}}{\partial x} = -\frac{1}{2} z_1^2 + k z_1 + \frac{1}{2} z_2^2 - k z_2$$

— Bağımsız değişken λ olursa

Bağımsız değışken λ ise integraler
 λ 'ya göre alınır. Aynı dűzen geçerlidir.
 Co-enerji yerine enerji bulunur. daha
 sonra co-enerji bulunur.

BÖLÜM - 7 -

TRANSFORMATÖRLER

Anma Değerler Bir transformator tasarım aşamasında belli koşullarda çalıştırıldığı düşünülerek tasarlanır. Gerilimin artması yalıtım üzerine olumsuz etki yapabilir. Makina stabil olduğunda tasarlandığı koşullarda çalıştırılmalıdır. Verim üzerinde olumsuz etki olur. Bir makina için anma değerler makina üzerine etikete yazılır (Etiket değeri). Anma değerlere, nominal değerler ve etiket değerler denir.

* Anma değerler tüketiciye genellikle verilir. T

Transformator \rightarrow çıkış gücü, lineer güç verilir

Jeneratörde \rightarrow elektriksel güçtür.

Motorlarda \rightarrow mekanik güçtür

Transformatorleri Sınıflandırılması

Transformatorleri değişik şekillerde sınıflandırmak mümkündür.

2) Uygulama alanları açısından sınıflandırma

1) Güç transformatorleri

Enerji sistemlerinde kullanılan transformatorlerdir

2) Elektronik transformatorler

Zayıf akım telenğinde kullanılan transformatorlerdir.

3) Ölölü transformatorleri: Dönüştürme oranı çok iyi olmalıdır. Akım ve gerilim transformatorleri olmak üzere iki kısma ayrılır. Dönüştürme oranı dıyerli bir şekilde bilinmelidir. Verim önemli değildir.

b) Frekans genişliği açısından sınıflandırma

1) Güç transformatorleri

50 Hz'de kullanılan transformatorlerdir. Enerji sistemlerinde önemlidir. Ve bunun için belirli frekansın sabit tutulması gerekir.

2) Geniş frekans bantlı transformatorler

3) Dar frekans bantlı transformatorler.

Bu ilki de elektronik devrelerde kullanılır

4) Darbe transformatorler, Güç elektronik devrelerinde transistor tetiklenmesinde kullanılır

c) Sargı adedi açısından sınıflandırma

1) Tek sargılı transformatorler (Motorlarda yol verme)

2) İki " " "

d) Bağlantı şekline göre sınıflandırma

Üçgen yıldız, zikzak - - v.s. (E. M. II)

- Birim DEĞERLER -

$$\text{Birim Değer} = \frac{\text{Gerçek Değer} \rightarrow 25 \text{ ohm}}{\text{Taban Değer} \rightarrow 10 \text{ ohm}} = 2,5$$

Birim değerlerle çalışmanın bir çok avantajı vardır. Akım kolaylığı sağlar. Karşılığ tutuma imkanı verir. - - v.s.)

$$\text{Gerçek Değer} = 25 \text{ ohm}$$

$$\text{Taban Değer} = 10 \text{ } \Omega$$

$$\frac{25 \text{ ohm}}{10 \text{ } \Omega} = 2,5 \text{ (p.4)}$$

TEK FAZLI TRANSFORMATÖRLER

Transformatörlerin temel ilkesi karşılıklı endüklenebilirliğe dayanır. Karşılıklı endüklenebilirlik için ayrı ayrı devrelerle bunları halkalayan değişken bir ortama alması gerektirir. Transformatörler çekirdek, ve kabuk türü olmak üzere yapıları açısından ikiye ayrılabilirler. Çekirdekli tipi transformatörlerde m. magnetik çekirdek her iki yanına sargılar sarılmıştır. Kabuk tipinde ise 'sargılar orta bacak üzerine sarılmış olup transformatörün diğer bacakları sargıları bir ölçüde çevrilmiş durumdadır.



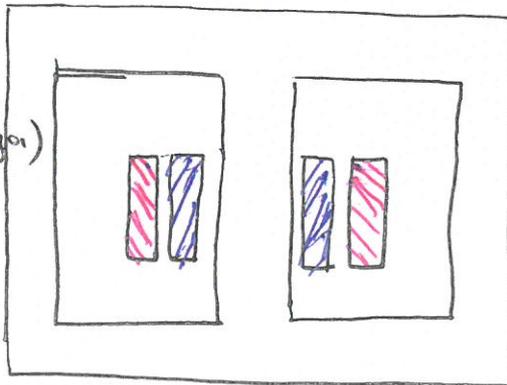
→ Kabuk tipi

daha korunmalıdır (Sargılar korunmaz)

→ Isınma en fazla ilincinin de olur.

→ Soğutma problemi de

en fazla kabuk tipindedir.



→ Kabuk tipinde kayıp daha fazladır. çünkü diğerinden fazla olarak bir demir var (ortada)

→ Verim bakımından iyi olan çekirdek tipidir.

Transformatörlerin yapısı iki kısımdan oluşur.
 ① Ortak manyetik Devresi ② Sargılar

manyetik devrenin görevi - ortak akı iletmek. Transformator sargılarıyla halkalanmayı sağlamaktır. Transformatorün manyetik devresinde elektrik makinelerinden farklı olarak hava aralığı yoktur. Hava aralığı arzulanan bir şey değildir. Hava aralığının

manyetik devrenin şu özellikleri sağlanması istenir.

- ① Ortak akıyı oluşturmak için gerekli uyartım akımı olabildiğince az olmalıdır. Bunu sağlamak amacıyla manyetik devre yüksek geçirgenlikli saclardan yapılır
- ② Zamanla değişen bir manyetik devrede gir-dop akımı kayıpları oluşupunu baltır. Bu istenmeyen kayıpları azaltmak için sacın % 3 oranında Si katılır. Gir-dop akımını azaltmanın diğer bir yolu ise değişken akılı kısmı ince sac levhalarından oluşturmaktır. Eteli Malzeme değişken akılı kısmın her zaman ince sac levhalarından oluşturulur. 0,35 mm kalınlığında saclar kullanılmaktadır. Sac levhalar üzerinde olabildiğinde ince yalıtılan tabakalar bulunur.

Özellikle son yıllarda japonyada geliştirilen bir teknolojiyle, sacın haddelenmiş, yönlendirilmiş kristalli sac levhalar ile bağlı manyetik geçirgenlik çok büyük değerlere ulaştırılmıştır.

- ③ Manyetik alanın belli bir yönde olması manyetik malzeme de genleşme sağlar. Alternatif akımda alüminin süretili olarak yerleştirilmesiyle

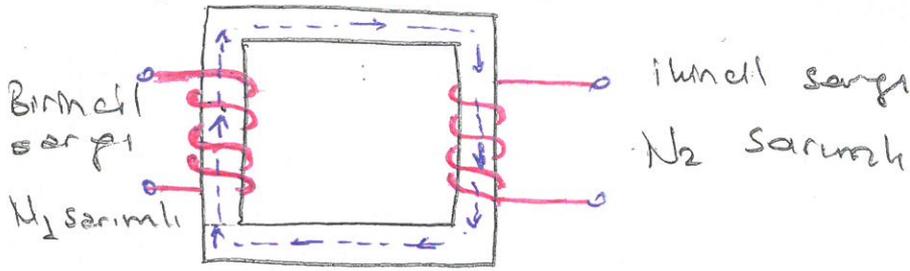
bu genişleme titreşime neden olur. Titreşim ise gürültüye neden olur. Bu olaya "Magneto-strüksiyon" olayı denir

Tek fazlı transformatörlerin magnetik devresi üzerinde birbirinden ayrılmış aynı ortak alu ile halkalanan iki ayrı sargı bulunur. Sargılardan birisi sebeben enerji alır. Buna birincil sargı denir. Diğerine ise ikincil sargı denir.

İDEAL TRANSFORMATÖR

Transformatörlerin kuramını geliştirmeden önce ideal transformatörün nasıl çalıştığını incelemek yerinde olacaktır. ideal transformatör için yapılan varsayımlar şunlardır;

- 1) Sargılarda oluşan elektriksel alan gözardı edilir
- 2) Sargıların dirençleri yok varsayılabilir.
- 3) Bütün magnetik alu yolu; magnetik malzeme üzerinden tamamlar. Yani kaçak alular gözardı edilebilecek kadar azdır.
- 4) Magnetik gelirden bağıl geçirgenliği o kadar büyükler ki magnetik gelirden gerekli alu oluşturmak için Magnetomotor kuvvet yok varsayılabilir. kadar azdır.
- 5) Demir (gelirden) kayıpları gözardı edilebilir.



İdeal trafoyun temel elemanları olan çekirdek birincil ve ikincil sargılarıyla şekilde gösterilmiştir. Birincil sargının sarım sayısı N_1 , ikincil sargının sarım sayısı N_2 olsun. Birincil ve ikincil sargılarda oluşan ϕ akısının zamanla değişimiyle sargılarda e_1 , e_2 gerilimleri endüklenir.

$$e_1 = N_1 \cdot \frac{d\phi}{dt} \quad e_2 = N_2 \cdot \frac{d\phi}{dt}$$

$$\frac{e_1}{e_2} = \frac{N_1}{N_2} \text{ dir.}$$

Akının zamanla değişen sinüzoidal olması nedeniyle endüklenen gerilim

$$\phi = \phi_m \cdot \sin \omega t \quad e = \omega \cdot N \cdot \phi_m \cdot \cos \omega t.$$

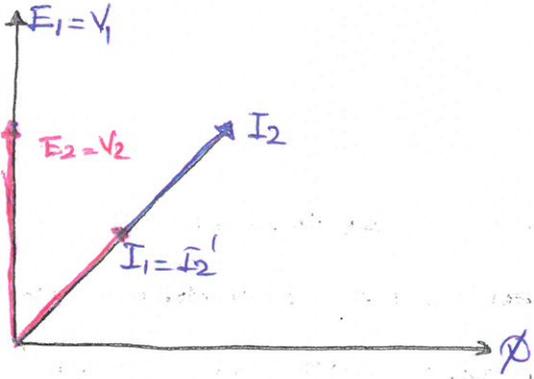
$$E = \frac{\omega \cdot N \cdot \phi_m}{\sqrt{2}} = \frac{2\pi f N \cdot \phi_m}{\sqrt{2}} = \sqrt{2} \cdot \pi \cdot f \cdot N \cdot \phi_m$$

Etkin değer Max. değer. = 4,44 \cdot f \cdot N \cdot \phi_m.

Elektriksel büyüklükler: fazörler olarak düşünelim. Birincil ve ikincil sargılarda endüklenen \underline{E}_1 ve \underline{E}_2 elektromotor kuvvetler! aynı fazda olup ϕ akısından 90° ilerdedir. Sargı dirençlerini yok varsaydıgımızdır. Birincil sargıya uygulanan V_1 gerilimi birincil sargıda endüklenen \underline{E}_1 'e eşit. İkincil sargıda uygulanan V_2 gerilimi ikincil sargıda endüklenen \underline{E}_2 'ye eşit olacaktır.

Transformatörün birincil sarfına bir ysk bağlanması durumunda ilincil devresinden geçen I_2 akımı $N_2 I_2$ değerinde bir magnetomotor kuvvet oluşturmaktadır. Birincil sarfıya uyg. gerilim sabit ise birincil elektromotor kuvveti ve sonuçta toplam akı sabit olacaktır. İncil bir magnetomotor kuvvet ise birincil akımı I_2' 'nin oluşturduğu magnetomotor kuvvet $N_1 I_2'$ ile dengelenecektir.

$$N_2 I_2 = N_1 I_2'$$



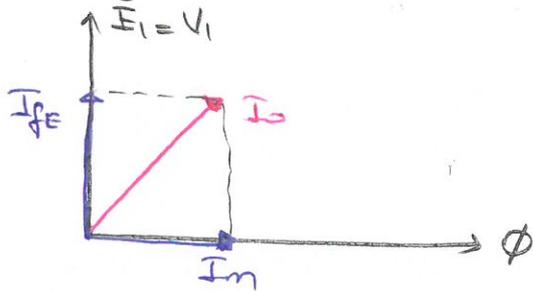
İncil akımın birincilde yanısıra I_2' akımına "Birincile indirgenmiş ilincil akım" adı verilir.

İncil yanın birincil yarı indirgenmesi işlemi tamamen bir dönüşüm işlemidir. Ancak yapılan işlemleri kolaylaştırmaktadır.

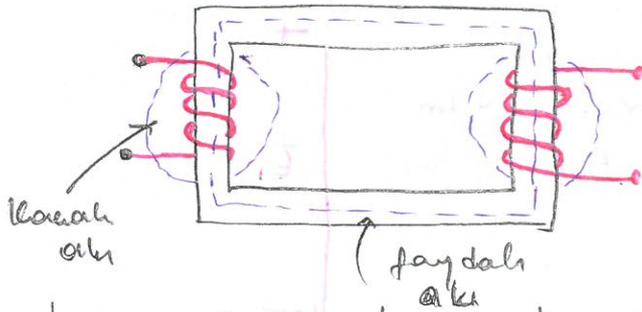
TEK FAZLI TRANSFORMATÖRÜN EŞDEĞER DEVRESİ

Tek fazlı transformator göz önüne alalım. Tek fazlı transformatörün ilincil devresinin açık devre durumunu inceleyelim. Faydalı akı Φ 'yi oluşturmak için I_m magnetislanma akımına gereksinim vardır. Doğrusal halde magnetislanma akımında I_m faydalı akı $i_1 - i_2 = \Phi$ aynı fazda olacaktır.

Gerçek bir transformatorde, magnetik malzemede demir kayiplari da vardir. Boşta çalışma alı demir kayiplarını karşılayan kısmını I_{fe} ile göstere lim. Bu akım birinci elektromotor kuvvetiyle aynı fazda olacaktır. Transformatorün boşta çalışma akımı I_0 , I_m ve I_{fe} 'nin fazörel toplamıdır. Bu koşullara göre fazör diyagramı aşağıdaki şekil- deki gibi olur.



Buraya kadar olan tartışmamızda transformator, sarjlarının direnci ve kaçak reaktansın olmadığını varsaydık. Ayrıca sarjlar Cu iletkenden yapılmışlardır. Ve dolayısıyla dirençleri vardır. Diğer yandan sarjların toplam akı ilül bileşenden oluştuğu düşünülebilir. Faydalı akı her iki sarj üzerinde yolunu tamamlayan akıdır. Kaçak akı ise yolunu magnetik malzeme üzerinden tamamlayamaz.



Kaçak akı yok edilemez. Fakat yok edilmek te istenmez çünkü bu bir kusur durumu akımı sınırlandıran reaktans tr.

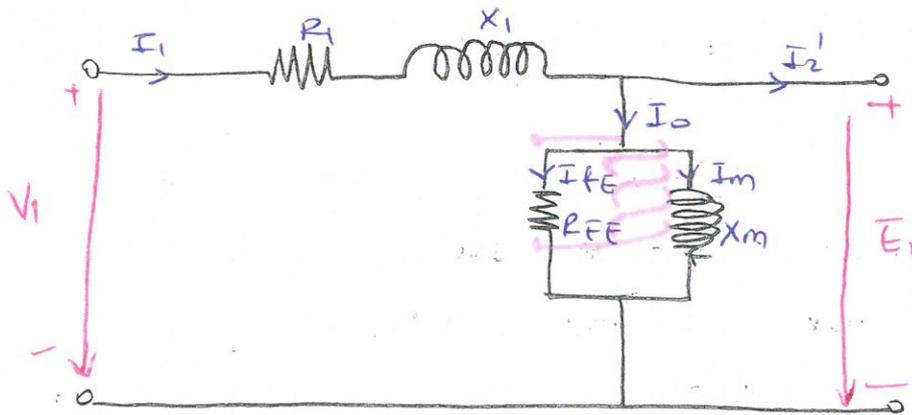
Kaçak akılar yollarını hava üzerinden tamamlar. Kaçak akılar nedeniyle oluşan kaçak endüktansları L_1 L_2 ile gösterelim.

Kaçak endüktanslardan, kaçak reaktanslarda kolayca bulunabilir

Şimdi gerçek bir transformatorün yükle çalışma durumunu inceleyelim. Birincil sargının akımı I_1 iki kısımdan oluşur. Bu akımlardan boşta çalışma akımı I_0 ve birincile indirgenmiş ikincil akımı I_2' 'dir. Birincil sargıya uygulanan V_1 gerilimi birincil sargı direnci ve birincil kaçak reaktansı üzerindeki gerilim düşümüyle birincil sargıdan endüktlenen elektromotor kuvvetinin fazsiz toplamı olarakta

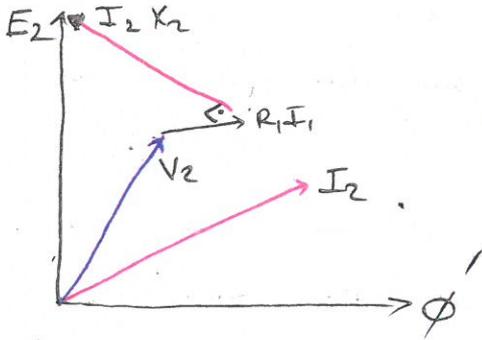
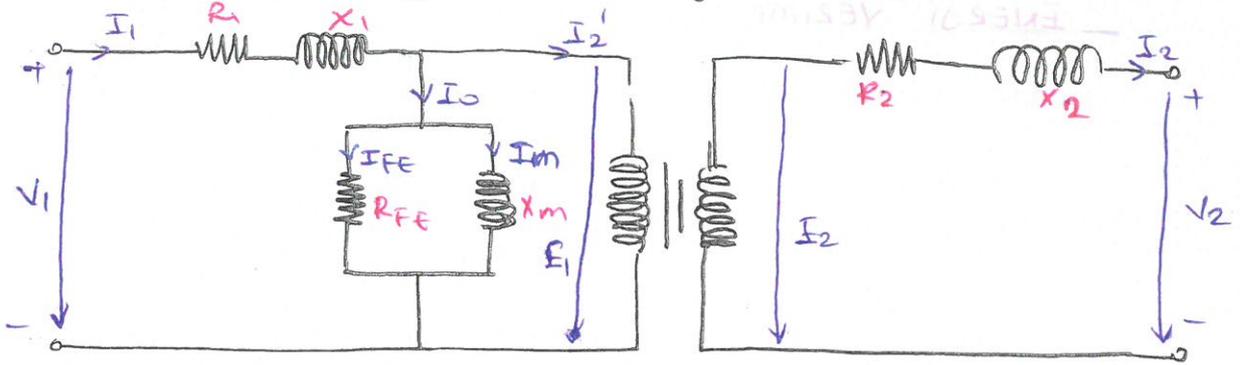
Boşta çalışma akımı I_0 iki bileşene ayrılabilir.

Faydalı akıyla aynı fazda olan manyetizasyon akımı I_m ve elektromotor kuvvetiyle zıttı fazda olan kayıp akımı I_{FE} transformatorün boşta çalışma akımları birbirleriyle paralel. R_{FE} direnciyle X_m reaktansının toplamı olarak gösterilebilir. Gerçek transformatorün yükle çalışmalı birincil devresi şu şekilde olur.

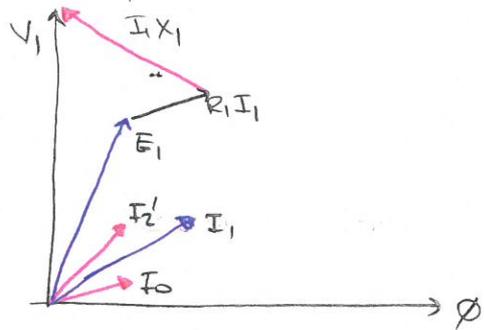


$X_1 =$ Hava boşluğunun reaktansı

Tüm eş değer devreyi çizelim.



İkinci devre için fazör diyagramı



Birinci devre için fazör diyagramı

İNDİR

CTransformatörün çalışmasını inceleyen ideal transfor motörlü devreye kullanmak hesaplar açısından uygun değildir.

$$E_2 = V_2 + I_2 (R_2 + jX_2) \quad \text{denklemini yardımı}$$

Diğer Yandan;

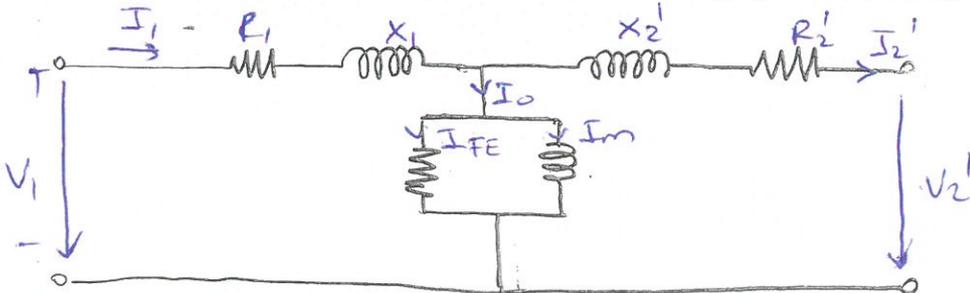
$$E_2 = E_1 \frac{N_2}{N_1} = \frac{E_1}{a} \quad \vee \quad I_2 = a \cdot I_2' \quad \text{denkleme de}$$

yerine koyarsak

$$E_1 = aV_2 + I_2' (a^2 R_2 + j a^2 X_2)$$

$$R_2' = a^2 \cdot R_2 \quad X_2' = a^2 X_2 \quad V_2' = aV_2 \quad I_2' = \frac{I_2}{a}$$

Bununla devre şu hale gelir.



ENERJİ VERİMİ

Giriş gücünün çıkış gücüne oranı şeklinde verilen verim tanımı bazı mühendislik sorunlarının kavranmasında yeterli olmaz. Bu nedenle enerji verimi dediğimiz, yetersiz bir verim tanımı yapılmalıdır.

$$\text{Tam gün enerji verimi} = \frac{24 \text{ saat boyunca enerji çıkışı}}{24 \text{ saat boyunca enerji girişi}} \times 100\%$$

$$\text{Yıllık enerji verimi} = \frac{\text{Bir yıl boyunca enerji çıkışı}}{\text{Bir yıl boyunca enerji girişi}} \times \%100$$

ÖRNEK PROBLEM Bir sanayi tüketicisi için giriş gücü 25 MVA olan birim güç katsayısı bir transformatöre gereksinim vardır. Transformatör gün 8 saat tam yükli ve günün geri kalan saatlerinde ise boşta çalışacaktır. Bu 8 için fiyatları aynı olan iki transformatörden birinin seçimi söz konusudur. A transformatörünün tam verimi %99 boşta çalışma kayıpları ise %0,5'dir. B transformatörünün tam yükle verimi %98,8 ve boşta çalışma kayıpları %0,3'dür.

a) Bu koşullar altında A ve B transformatörlerinin tam gün enerji verimlerini bulunuz.

b) Enerjinin 1 kWh'in fiyatı 4000 TL. Olduğuna göre bir yılda yukarıda belirtilen koşullar altında iki transformatörün meydana getireceği gider farkını bulunuz.

Çözüm 2) A transformöründe başında oluşan kayıpları bulalım.

$$(25 \times 10^3 \times 0,01 \times 8) + (25 \times 10^3 \times 0,005 \times 16) = \underline{4000 \text{ kwh}}$$

Buna göre; A transformörünün tam gsn enerji Verimi

$$\text{T.G.E.V} = \frac{8 \times 25 \times 10^3 \times 0,99}{8 \times 25 \times 10^3 + 25 \times 10^3 \times 0,005 \times 16} = \% 98$$

B transformörünün 1 gsnde oluşan kayıplarını bulalım.

$$(25 \times 10^3 \times 0,012 \times 8) + (25 \times 10^3 \times 0,003 \times 16) = 30$$
$$= \underline{3600 \text{ kwh}}$$

Öhalde B transformörünün Tam gsn enerji verimi

$$\text{T.G.E.V} = \frac{8 \times 25 \times 10^3 \times 0,988}{8 \times 25 \times 10^3 + 25 \times 10^3 \times 0,003 \times 16} = \% 98,2$$

b) $(4000 - 3600) \times 4000 \times 0,65 = 584 \text{ Milyon TL}$