

Elektrik Makinaları Gereklileştirilmiş Teorisi

Doç. Dr. ERKAN MEŞE

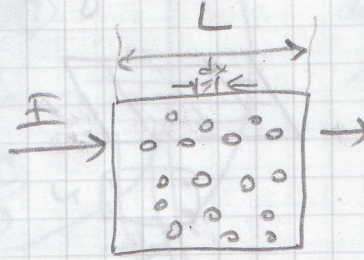
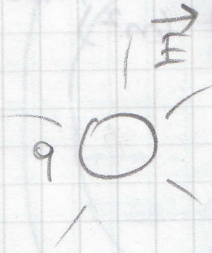
ANIL ESKİN

Dr. Erkan Meşe
00/11/2010

Temel Elektromanyetik Kavramlar ve Manyetik Devreler

Elektromanyetizma,
Hasan Önal, İTÜ

Elektrostatik, Hasan Önal,
İTÜ



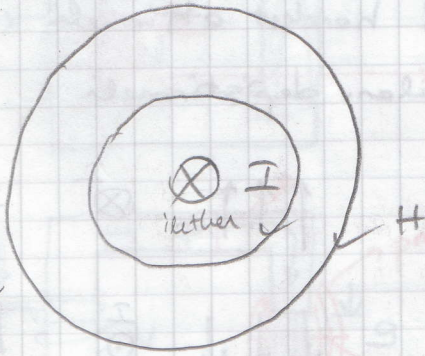
$$\vec{J} = \sigma \cdot \vec{E}$$

$\vec{J}$: Akım Yoğunluğu

$\vec{E}$: Elektrik Alanı

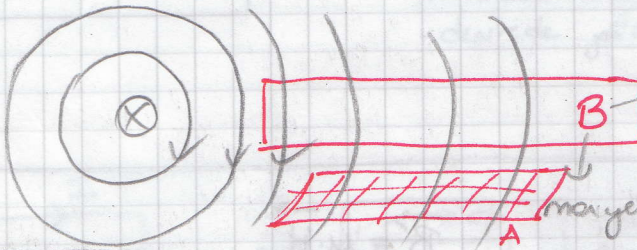
σ : Ortamın iletkenliği

$$E = \frac{V}{L} \quad E = \frac{dV}{dx}$$



$\vec{H}$: Manyetik Alan Şiddeti (A/m)

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = I \quad \text{Amper Yasası}$$



malzemeye göre farklı

manyetik akı yoğunluğu

! Balur → manyetik geçirgenliği
çok (hava kadar)
Yüksekliği

Miknatıs → manyetik geçirgenliği
çok çok (hava kadar)
↓
Her bir malzeme üretir

$$\vec{B} = \mu \cdot \vec{H}$$

$\vec{B}$: Manyetik Akı Yoğunluğu (Tesla)

$\vec{H}$: Manyetik Alan Şiddeti (A/m)

μ : Manyetik geçirgenlik

$$\mu = \mu_r \cdot \mu_0$$

μ_0 = Havanın manyetik geçirgenliği

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$$

μ_r : Bağıl geçirgenlik katsayısı

$$\Phi = \int B \cdot dA = B \cdot A$$

Φ : Manyetik akı miktarı (wb)

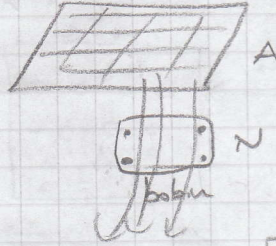
A: Manyetik Akının içinden geçtiği kesit (m^2)

$$\lambda = N \cdot \Phi$$

bir bobinli halkaların akı miktarı

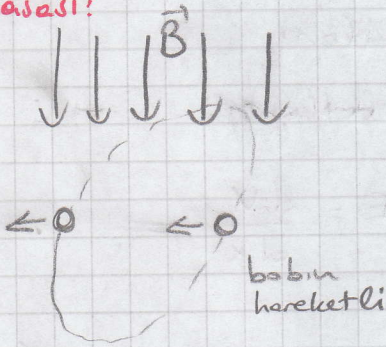
λ : halkaların akı (V.s)

N: Sarm sayısı



Statik bobin, D, A.

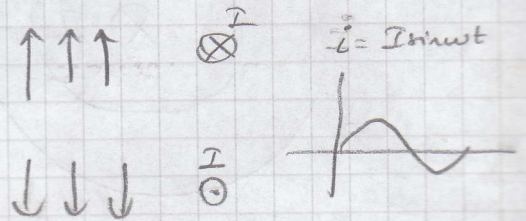
Faraday Yasası:



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

değişken
magn. alan

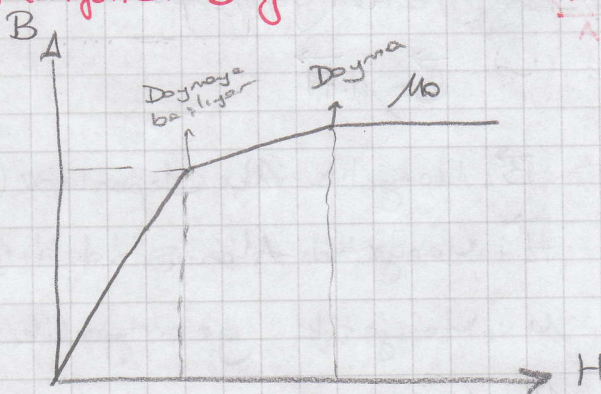
- 1) iletkeni hareket ettirmek
- 2) magn. alanı değiştirmek



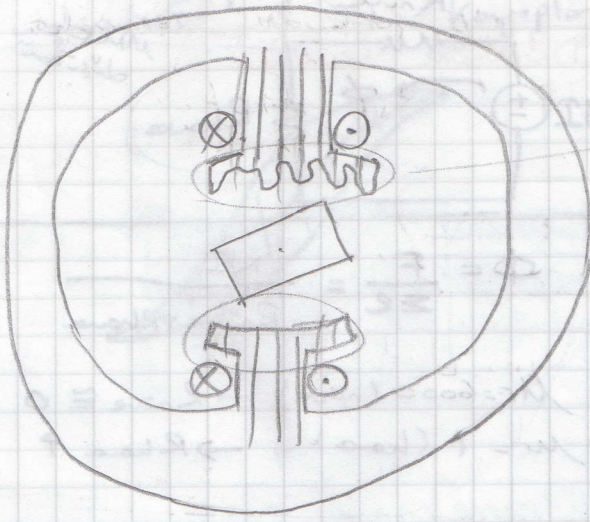
Endüksiyon:

$$\lambda = L \cdot i$$

Manyetik Döyma



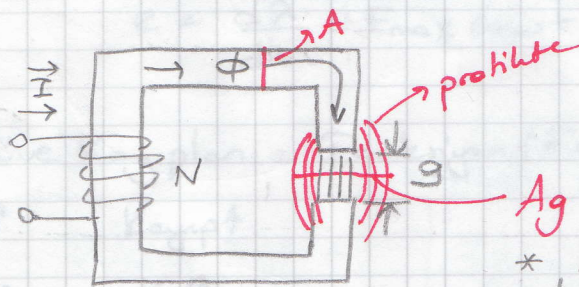
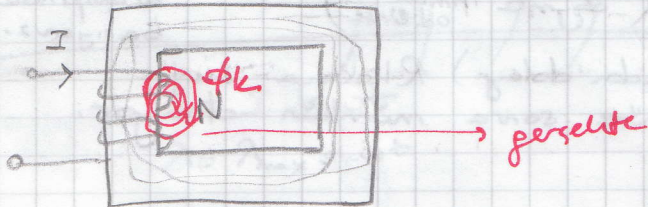
$$\vec{B} = \mu \cdot \vec{H}$$



→ Bu bölgelerde B daha fazla
dayan önce burelerde başlar.
M her yerde sbit kalmasz.

Manyetik Devreler:

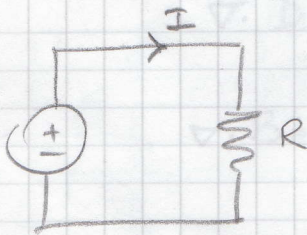
$$i \rightarrow H \rightarrow B \rightarrow \phi \rightarrow \lambda \rightarrow e$$



$$\phi = B \cdot A$$

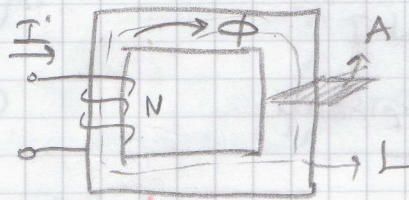
$$B = \frac{\phi}{A}$$

* hava aralıpındaki küçük akı manyetik devrede göz önüne alınmıyor.



$$I = \frac{V}{R}$$

$$R = \frac{\rho \cdot L}{s}$$



Carter Coefficient
Carter katsayısı

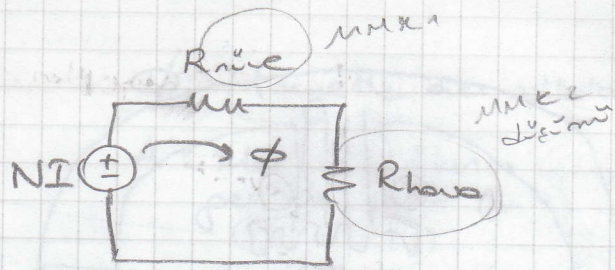
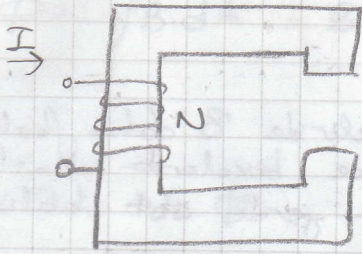
$$F = N \cdot I : \text{Manyeto Motor Kuvvet}$$

R: Relüktans

$$R = \frac{L}{\mu \cdot A}$$

mu mu

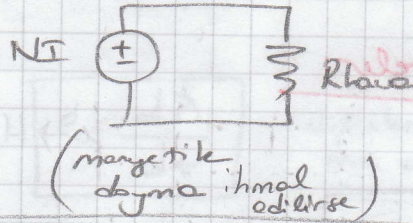
$$\phi = \frac{F}{R} = \frac{N \cdot I}{R}$$



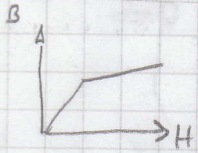
$$\Phi = \frac{F}{\Sigma R} = \frac{NI}{R_{nüve} + R_{hava}}$$

$$\mu_r = 6000 \text{ (nüve)} \rightarrow R_{nüve} \approx 0$$

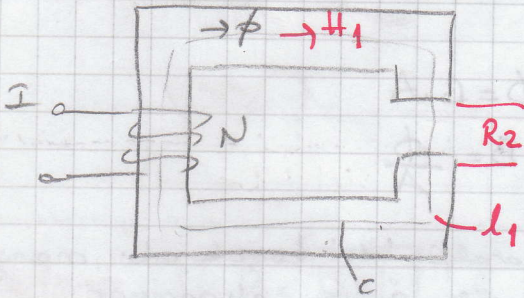
$$\mu_r = 1 \text{ (hava)} \rightarrow R_{hava} \uparrow$$



Magnetik Alanda
bütün enerji
dönüşümü
hava
aralığında
başlıyor.



$R_{nüve} \uparrow$ (doymada dolayı) R_{hava} enerji transferi bir süre sonra mümkün olmuyor.

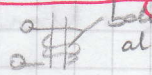


$$\int H \cdot dl = N \cdot I$$

$$\underbrace{\int H_1 \cdot dl_1}_{\text{nüvedeli MMK}} + \underbrace{\int H_2 \cdot dl_2}_{\text{hava aralığındaki MMK}} = N \cdot I$$

Magnetik Sistemlerde Kayıplar:

1) Bakır Kayıpları

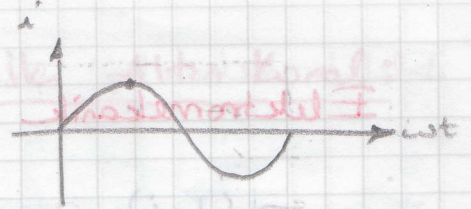
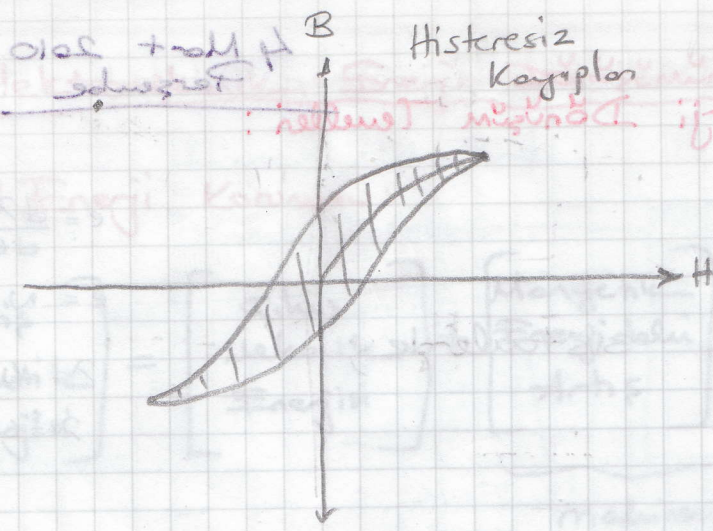


$$P_{\text{bakır}} = I^2 \cdot R_{\text{bakır}} \quad R_{\text{bakır}} = \frac{\rho \cdot l}{A}$$

2) Histeresiz Kayıpları

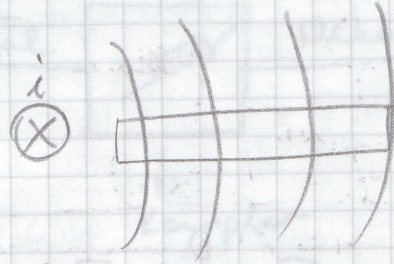
3) Eddy Akım Kayıpları

Nüve kayıpları
(Core Losses)



Dipol

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = 0$$



$$i = I \sin \omega t$$

$$\lambda = \lambda_{\max} \sin \omega t$$

$$e = \frac{d\lambda}{dt} = E_{\max} \cos \omega t$$



nüve kaybı

Eddy kayıpları

Nüve Kayıpları = Fonksiyon (Frekans, B, manyetik malzemenin elektriksel direnci)

$f \uparrow$ Kayıp $\uparrow$
 $B \uparrow$ $K \uparrow$

MAXWELL DENKLEMLERİ

$$\nabla \cdot D = \rho$$

$$\nabla \cdot B = 0$$

$$\nabla \times E = - \frac{\partial B}{\partial t}$$

$$\nabla \times H = J + \frac{\partial D}{\partial t}$$

$$\oint_A D \cdot dA = Q_{\text{enc}}$$

$$\oint_A B \cdot dA = 0$$

$$\oint_s E \cdot ds = - \frac{d\Phi_B}{dt}$$

$$\oint_s H \cdot dl = I_{\text{enc}} + \frac{d\Phi_D}{dt}$$

Amper Yasası

Gauss

Faraday Yasası

yüksek frekanslarda maxwell denklemleri geçerli

$$\vec{S} = k(\vec{E} \times \vec{H}) \text{ Poynting Vektör}$$

4 Mart 2010
Perşembe

Elektromekanik Enerji Dönüşüm Temelleri:

$$e = \frac{d(L \cdot i)}{dt}$$

Sabit (durağan) manyetik sistemlerde;

$$e = L \cdot \frac{di}{dt}$$

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

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

$$\lambda = N \cdot \phi$$

$$\lambda = L \cdot i$$

Sabit (durağan) olmayan elektromekanik sistem;

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

$$e = \frac{d(L \cdot i)}{dt}$$

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

Güç: $P = e \cdot i$

$$P = \frac{d\lambda}{dt} \cdot i$$

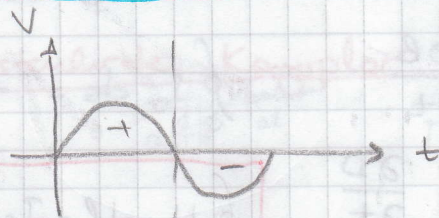
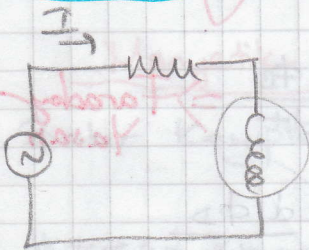
$$P \cdot dt = i \cdot d\lambda$$

↓
enerji debisi
↓

$$\Delta w = i \cdot d\lambda$$

$$\int_{t_1}^{t_2} P \cdot dt = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} i \cdot d\lambda$$

$$\Delta w = \frac{1}{2} (\lambda_2^2 - \lambda_1^2) \quad w = \frac{1}{2} L i^2$$



Bobin
sistemden
enerji
alıyor

Bobin
sisteme
enerji
veriyor.

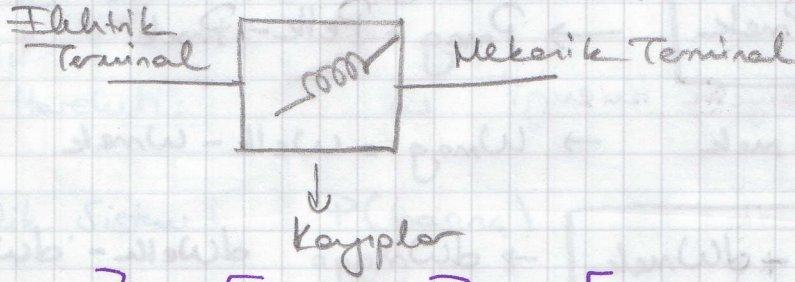
Bobin her periyotta sistemden güç alıyor ve güç veriyor.
Bu güç aslında iş yapmıyor oluyor. Bu güç reaktif güçtür.

Elektromekanik Enerji Dönüşümünde İki Altın Kural:

① Enerji Korunumu:

$$\left[\begin{array}{c} \text{Giriş} \\ \text{Elektirik} \\ \text{Enerjisi} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} \text{Çıktı} \\ \text{Mekanik} \\ \text{Enerjisi} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{c} \text{Manyetik} \\ \text{Enerjideki} \\ \text{Artış} \end{array} \right] + \left[\text{Kayıplar} \right]$$

malinenin
sektiği reaktif enerji

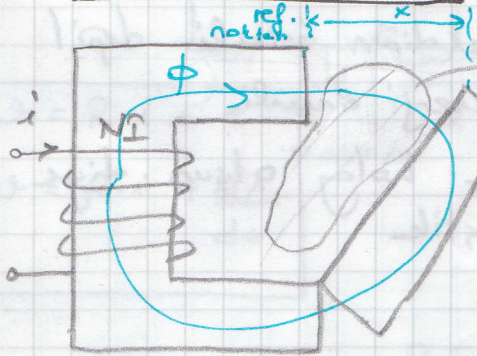


$$\left[\text{Kayıplar} \right] = \left[\begin{array}{c} \text{Ohmik} \\ \text{Kayıplar} \\ I^2 \cdot R \end{array} \right] + \left[\begin{array}{c} \text{Xlü ve} \\ \text{Kayıplar} \\ B, f, i \end{array} \right] + \left[\begin{array}{c} \text{Sürtünme} \\ \text{ve} \\ \text{Rüzgar} \\ \text{Kayıplar} \end{array} \right]$$

② * Manyetik alana depolanan enerji pozisyona (x, θ) bağlı olmalıdır.

$$\begin{aligned} W_{\text{mag}} &= f(x) \\ W_{\text{mag}} &= f(\theta) \end{aligned}$$

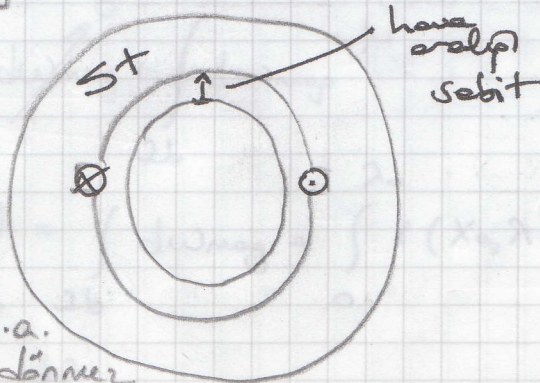
Eğer bağlı değilse moment üretilmez, motor dönmaz.



W_{mag}

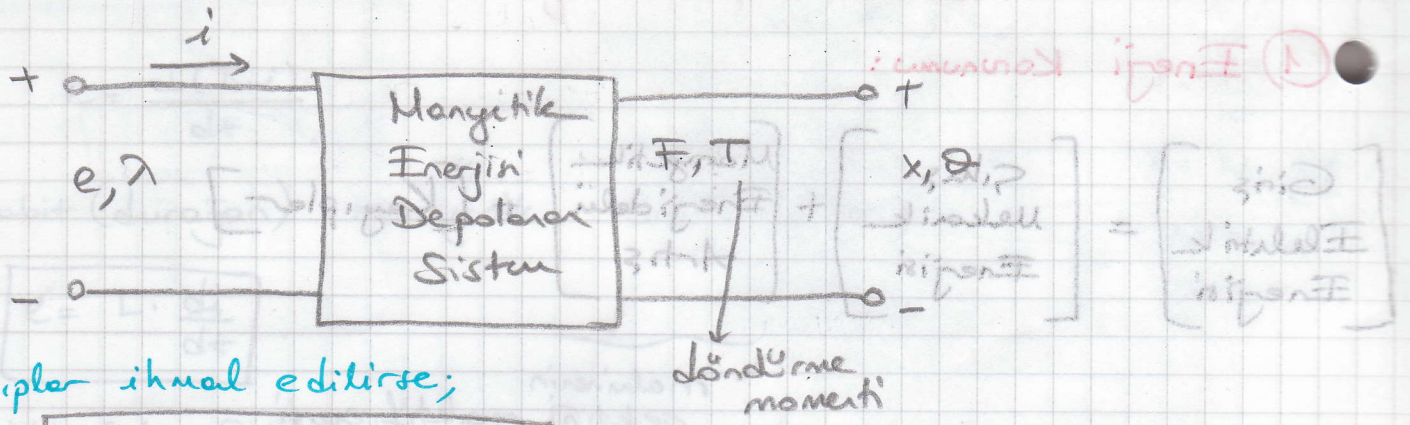
x 'e bağlı (hava aralığına bağlı) alan değişir.

* Ör: Manyetik enerji depişmez. Motor dönmaz.



Akım $\sim$ veya d.a. da olsa motor dönmaz

Elektromekanik Enerji Dönüşümünde Enerji Metodu 1



Kayıplar ihmal edilirse;

$$P_{elk} = P_{mag} + P_{mek} \rightarrow P_{mag} = P_{elk} - P_{mek}$$

$$W_{elk} = W_{mag} + W_{mek} \rightarrow W_{mag} = W_{elk} - W_{mek}$$

$$dW_{elk} = dW_{mag} + dW_{mek} \rightarrow dW_{mag} = dW_{elk} - dW_{mek}$$

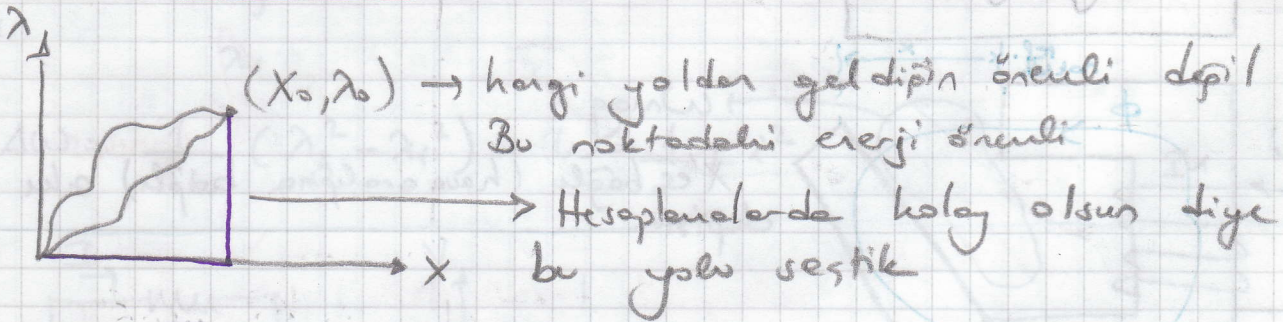
$$\frac{dW_{mag}}{dt} = e \cdot i - F \cdot \frac{dx}{dt}$$

$$\frac{dW_{mag}}{dt} = i \cdot \frac{d\lambda}{dt} - F \cdot \frac{dx}{dt}$$

$$\star dW_{mag} = i \cdot d\lambda - F \cdot dx$$

$$(x) \phi = \text{pozitif}$$

$$(\theta) \phi = \text{pozitif}$$



NOT:

Mekanik Güç

Lineer sistemlerde: $P_{mek} = F \cdot v$

Dönme hareketi: $P_{mek} = T \cdot \omega$

Fiziksel sistemlerde güç: $P = U_s \text{ depişken} \times I_s \text{ depişken}$

U_s Depişken

I_s Depişken

Elektirikte:

V

Lineer Ötelme:

v

Dönme Hareketi:

ω

Hidrolik Sistem:

P (basınç)

Q (debi)

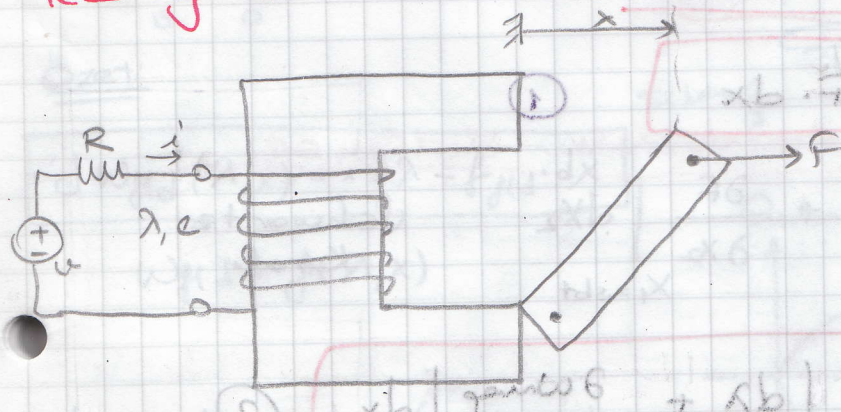
Termal Sistem:

T (Sıcaklık)

A (Isıl Debi)

$\downarrow$
ısı akış miktarı

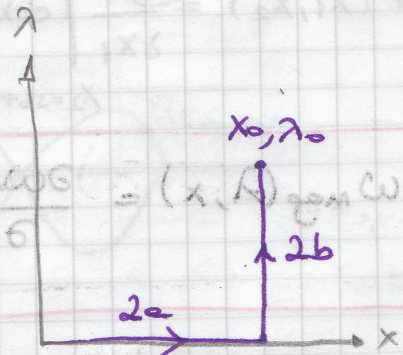
Tek Uyarımlı Elektromekanik Sistende Enerji ve Kuvvet



$$dW_{mag} = i \cdot d\lambda = F \cdot dx$$
$$x_b \cdot i = \lambda_b \cdot i = \text{genel } W_b$$

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

$$x_b \cdot i = \frac{\text{genel } W_b}{x_b} + \frac{\lambda_b \cdot i}{x_b} = (x, \lambda) \text{ genel } W_b$$



hangisi yol olduğu önemli olmadığı için sistemi gösterken en kolay yolu seçiyoruz.

$$W_{mag}(x_0, \lambda_0) = \int_{2a}^{\lambda_0} dW_{mag} + \int_{2b}^{\lambda_0} dW_{mag}$$

$$W_{mag}(x_0, \lambda_0) = \int_{2b}^{\lambda_0} dW_{mag} = \int_0^{\lambda_0} i(x_0, \lambda) d\lambda$$

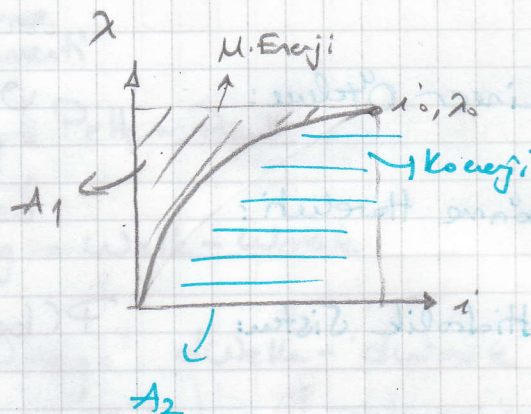
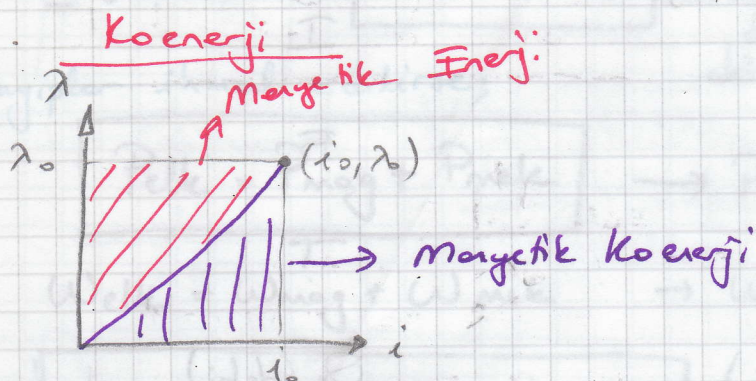
$$W_{mag} = \int_0^{\lambda} i \cdot d\lambda$$

$$i = \frac{\lambda}{L(x)}$$

→ eğer böyle bir ilişki varsa

$$\omega_{\text{mag}}(x_0, \lambda_0) = \int_0^{\lambda_0} \frac{\lambda}{L(x_0)} d\lambda$$

$$\omega_{\text{mag}}(x_0, \lambda_0) = \frac{1}{2} \frac{\lambda_0^2}{L(x_0)}$$



$$\omega_{\text{ek}} = A_1 + A_2$$

Magnetik Kurvetin Hesabı:

$$d\omega_{\text{mag}} = i \cdot d\lambda - F \cdot dx$$

①

$$dF(x_1, x_2) = \frac{\partial F}{\partial x_1} \bigg|_{x_2=\text{sbt}} dx_1 + \frac{\partial F}{\partial x_2} \bigg|_{x_1=\text{sbt}} dx_2$$

Schwarz Kuralı

$$d\omega_{\text{mag}}(\lambda, x) = \frac{\partial \omega_{\text{mag}}}{\partial \lambda} \bigg|_{x=\text{sbt}} d\lambda + \frac{\partial \omega_{\text{mag}}}{\partial x} \bigg|_{\lambda=\text{sbt}} dx$$

②

$$i = \frac{\partial \omega_{\text{mag}}(\lambda, x)}{\partial \lambda}$$

$$F = - \frac{\partial \omega_{\text{mag}}(\lambda, x)}{\partial x}$$

$$T = - \frac{\partial \omega_{\text{mag}}(\lambda, x)}{\partial \theta}$$

$$\lambda, i, \theta$$

$$\lambda, i, x$$

$$\lambda = \frac{\partial W_{mag}(i, x)}{\partial i}$$

$$F = \frac{\partial W_{mag}(i, x)}{\partial x}$$

$$T = \frac{\partial W_{mag}(i, E)}{\partial E}$$

$$Koenerji = W_{mag}$$

$$i = f(\lambda, \theta)$$

$$\lambda = f(i, \theta)$$

hergisiyle sözmege baslediyeniz diherine
geriye uyardiriniz. Baslatken hangi yontemi
sestiyeniz onla duvar edersiniz. Diherine
sevirnek neredeyse imkansizdir.

Magnetik Enerji

$$W_{mag} = \int_V \left[\int_0^{B_0} H \cdot dB \right] dV$$

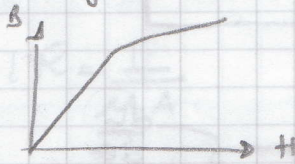
$$W_{mag} \uparrow$$

Elektriksel Siner

$$\oint H \cdot dl = i \quad (i \uparrow)$$

$$P = i^2 \cdot R \quad \text{kayip} \uparrow \quad \text{isınma} \uparrow$$

Magnetik Siner



Magnetik Ko Enerji

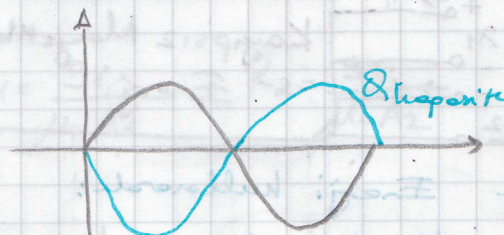
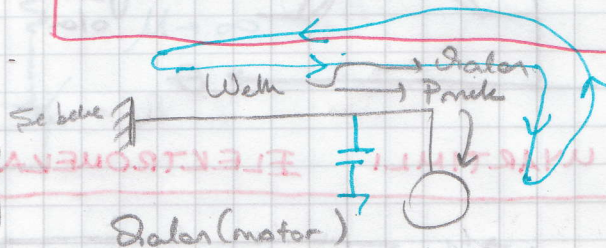
$$W'_{mag} = \int_V \left[\int_0^{H_0} B \cdot dH \right] dV$$

Özet:

$$dW_{fld}(\lambda, x) = i d\lambda - f_{fld} \cdot dx$$

$$W_{fld} = f(\lambda, x)$$

$$dW_{fld}(\lambda_0, x_0) = \int_0^{\lambda_0} i(\lambda, x_0) d\lambda$$



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

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

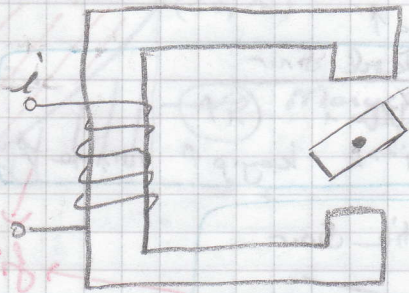
dönüşüm zor → Koenerjiyle hesaplamak daha kolay

$$i \cdot \lambda = W_{fld} + W'_{fld}$$

$$d\omega'_{fld}(i, x) = \frac{\partial \omega'_{fld}}{\partial i} di + \frac{\partial \omega'_{fld}}{\partial x} dx$$

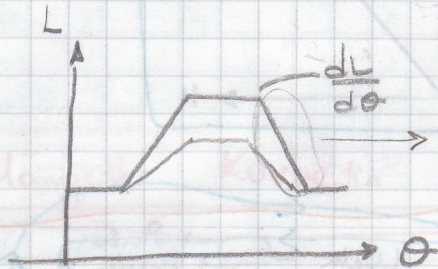
$$\lambda = \left. \frac{\partial \omega'_{fld}(i, x)}{\partial i} \right|_x \quad f_{fld} = \left. \frac{\partial \omega'_{fld}(i, x)}{\partial x} \right|_i$$

$$T = \frac{\partial \omega'_{fld}(i, \theta)}{\partial \theta} \quad d\omega'_{fld}(i, x) = \int_0^i \lambda(i, x) di'$$



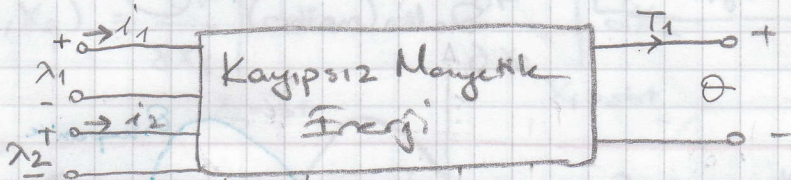
$$\omega = \frac{1}{2} L i^2$$

$$\omega = \frac{1}{2} L(\theta) i^2$$



epini fazla olan -> daha fazla moment üretir.

GÖK UYARTIMLI ELEKTRONİK SİSTEMLER



Manyetik Enerji kullanışlı:

$$d\omega_{mag}(\lambda_1, \lambda_2, \theta) = i_1 d\lambda_1 + i_2 d\lambda_2 - T d\theta$$

$$d\omega'_{mag}(i_1, i_2, \theta) = \lambda_1 di_1 + \lambda_2 di_2 + T d\theta$$

$$i_1 = \frac{\partial \omega_{mag}(\lambda_1, \lambda_2, \theta)}{\partial \lambda_1} \quad i_2 = \frac{\partial \omega_{mag}(\lambda_1, \lambda_2, \theta)}{\partial \lambda_2}$$

$$T = \frac{-\partial \omega_{mag}(\lambda_1, \lambda_2, \theta)}{\partial \theta}$$

odur
değişkenler
sıkar.

Manyetik Koenerji kullanışlı:

$$\lambda_1 = \frac{\partial \omega'_{mag}(i_1, i_2, \theta)}{\partial i_1} \quad ; \quad \lambda_2 = \frac{\partial \omega'_{mag}(i_1, i_2, \theta)}{\partial i_2} \quad ; \quad T = \frac{\partial \omega'_{mag}(i_1, i_2, \theta)}{\partial \theta}$$

Ten uyartımlı

$$\lambda = L \cdot i$$

Gök uyartımlı

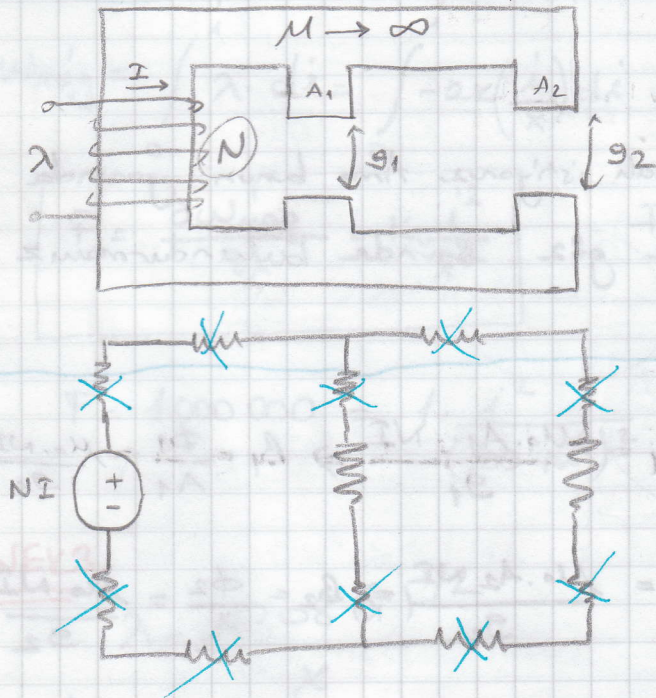
$$\lambda_1 = L_{11} \cdot i_1 + L_{12} \cdot i_2 + L_{13} \cdot i_3 + L_{14} \cdot i_4 + \dots$$

$$\lambda_2 = L_{22} \cdot i_2 + L_{21} \cdot i_1 + L_{23} \cdot i_3 + \dots$$

$$\lambda_3 = L_{33} \cdot i_3 + L_{31} \cdot i_1 + L_{32} \cdot i_2 + \dots$$

$$\lambda_4 = L_{44} \cdot i_4 + L_{41} \cdot i_1 + L_{42} \cdot i_2 + L_{43} \cdot i_3 + \dots$$

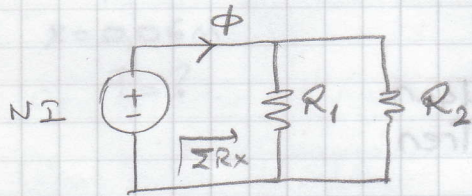
Örnek:



MMK (MMF): manyeto motor kuvvet

$$R = \frac{1}{\mu \cdot A}$$

$$\mu \rightarrow \infty$$



$$R_1 = \frac{g_1}{\mu_0 A_1}$$

$$R_2 = \frac{g_2}{\mu_0 A_2}$$

$$\Sigma R_x = R_1 // R_2$$

$$\phi = \frac{NI}{\Sigma R_x} = \frac{NI}{R_1 R_2 / (R_1 + R_2)}$$

$$\lambda = N \phi \quad e = \frac{d\lambda}{dt}$$

$$\lambda = \frac{N^2 I}{R_1 R_2 / (R_1 + R_2)} = \frac{N^2 (R_1 + R_2)}{R_1 \cdot R_2} \cdot I$$

$$\lambda = L \cdot I$$

$$L = \frac{N^2 (R_1 + R_2)}{R_1 \cdot R_2}$$

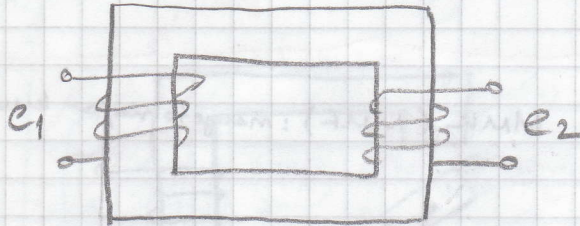
$$\lambda = \frac{N^2}{\sum R_x} \cdot I$$

$$L = \frac{N^2}{\sum R_x}$$

$$L = N^2 \cdot \sum P_x$$

$$\text{Permanance} = \frac{1}{\text{Reluctance}}$$

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



$$X = \omega \cdot L$$

Gerilimi arttırmak için N 'yi arttırmak istiyoruz. Ama bunun yanında L 'de artacak dolayısıyla X 'i de göz önünde bulundurmanız gerekmektedir.

Örneğe devam

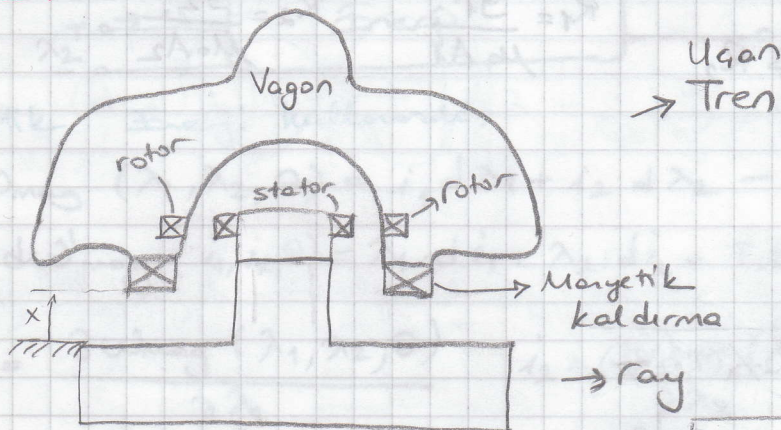
$$\Phi_1 = \frac{NI}{R_1}$$

$$\Phi_2 = \frac{NI}{R_2}$$

$$\Phi_1 = \frac{\mu_0 \cdot A_1 \cdot NI}{g_1} \Rightarrow B_1 = \frac{\Phi_1}{A_1} = \frac{\mu_0 \cdot NI}{g_1}$$

$$\Phi_2 = \frac{\mu_0 \cdot A_2 \cdot NI}{g_2} \Rightarrow B_2 = \frac{\Phi_2}{A_2} = \frac{\mu_0 \cdot NI}{g_2}$$

ÖRNEK 2:

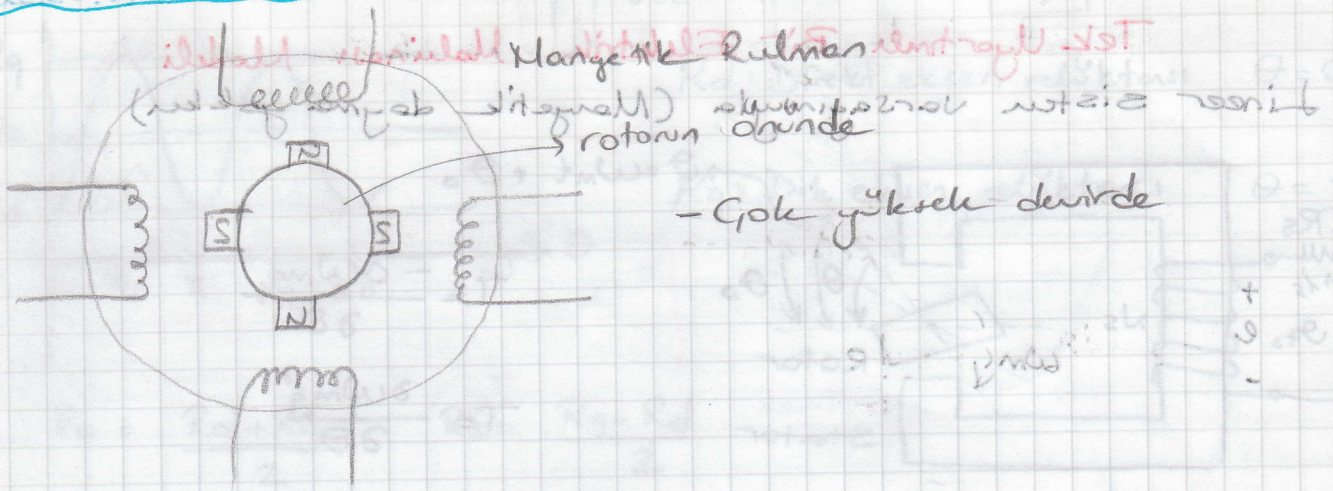


Vagon Boş Ağırlığı = 100 ton

$x = 100\text{mm}$ olacak şekilde gerekli sergi akımını hesaplayınız.

$$K = \frac{1 \text{ Nm}^2}{\text{A}^2} \quad g = 10 \text{ m/s}^2$$

$$\lambda = -2K \frac{i}{x}$$



$$W_{\text{mag}} = \int_0^1 \lambda \cdot di = \int_0^1 -2K \left(\frac{i}{x} \right) di = -K \frac{i^2}{x}$$

$$F = \frac{\partial \omega_{\text{mag}}}{\partial x} = K \frac{x^2}{x^2}$$

$$F_{\text{vagon}} = 100\,000 \cdot 10 = 1\,000\,000 \text{ N}$$

$$F = 1000000 = \frac{1 \cdot i^2}{(100 \cdot 10^{-3})^2}$$

$$I = 100 \text{ A}$$

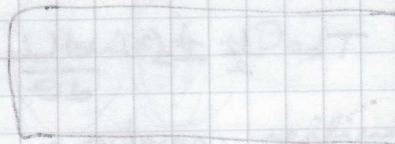
ORNEK 3:

$$\lambda = \frac{0,08 \text{ (i)}^{1/2}}{x}$$

$$I = 4 \text{ A}$$

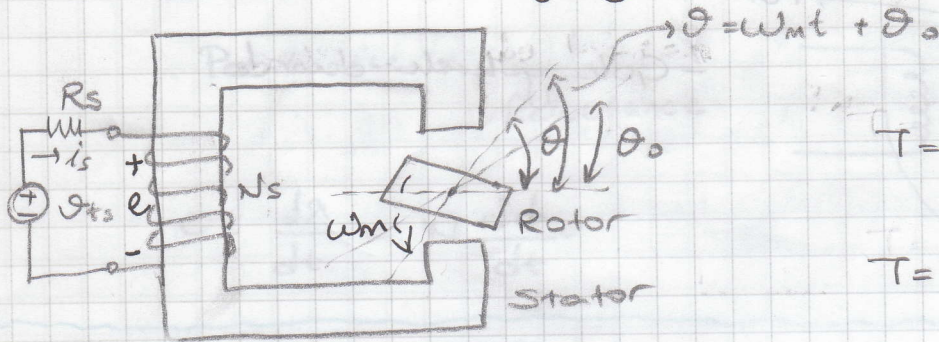
$$x = 906 \text{ m}$$

$$\overline{F} = 2$$



Tek Uyartımlı Bir Elektrik Makinası Modeli

Lineer sistem varsayımıyla (Manyetik doyuma yokken)



$$T = - \frac{\partial W_{mg}}{\partial \theta}$$

$$T = \frac{\partial W_{mg}'}{\partial \theta}$$

a) Eğer uyartım DC ise;

$$T = \frac{dW_{mg}'}{d\theta} = W_{mg}' = \frac{1}{2} L i_s^2$$

$$T = \frac{1}{2} i_s^2 \frac{dL}{d\theta}$$

(lineer sistem) $W_{mg} = W_{mg}' = \frac{1}{2} L i_s^2 \leftarrow L = \frac{N^2}{R} \quad \Phi = \frac{N i_s}{R}$

$$i_s = \frac{\Phi R}{N}$$

$$i_s^2 = \frac{\Phi^2 R^2}{N^2}$$

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

$$T = \frac{1}{2} \Phi^2 \frac{dR}{d\theta}$$

$$* i_s = I_s = \frac{V_{ts}}{R_s}$$

$$T = \frac{1}{2} I_s^2 \frac{dL}{d\theta}$$

b) Eğer uyartım sinüsoidal bir gerilim kaynağı ise;

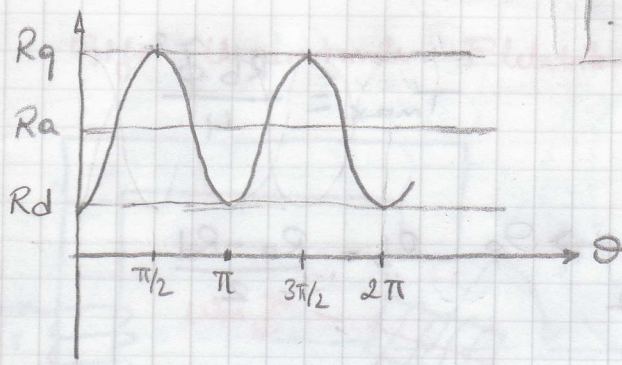
$$V_{ts} = N_s \frac{d\Phi}{dt} \quad (R_s \text{ direncindeki gerilim düşümünü ihmal edilerek yazarsak})$$

$(V_{ts} \approx e)$

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

$$0 \leq T \leq \frac{1}{2} \hat{\Phi}^2 \frac{dR}{d\theta}$$

$$T = \frac{1}{2} \hat{\Phi}^2 \frac{dR}{d\theta}$$



R_d : Direkt eksen relüktansı $\theta = 0$

R_g : Dik eksen relüktansı $\theta = \frac{\pi}{2}$

$$R_a = \frac{R_d + R_g}{2} \quad R_b = \frac{R_g - R_d}{2}$$

$$R = R_a - R_b \cos 2\theta$$

$$T = \frac{1}{2} \phi^2 \cdot \frac{dR}{d\theta} = \frac{1}{2} \phi^2 \cdot \frac{d(R_a - R_b \cos 2\theta)}{d\theta} = \phi^2 \cdot R_b \sin 2\theta \quad (1)$$

$$\mathcal{Q}_t \cong e = N_s \cdot \frac{d\phi}{dt}$$

$$\phi = \hat{\phi} \cos \omega_s t \quad (2)$$

$$\theta = \omega_m t + \theta_0 \quad (3)$$

2 ve 3 nolu denklemler 1 nolu denklemde kullanılırsa;

$$T = \hat{\phi}^2 [\cos^2 \omega_s t] R_b \sin 2(\omega_m t + \theta_0)$$

$$\left\{ T = \frac{R_b \hat{\phi}^2}{2} \left[\sin 2(\omega_m t + \theta_0) + \frac{1}{2} \sin 2[(\omega_m + \omega_s)t + \theta_0] + \frac{1}{2} \sin 2[(\omega_m - \omega_s)t + \theta_0] \right] \right.$$

ω_s : Stator sargılarına uygulanan gerilimin arısal frekansı

ω_m : Rotor dönüş hızı

Bu denklemde ortalama moment sifire eşit sıfır olacaktır. Ancak özel bir durumda bir moment üretilebilir. $\Rightarrow \omega_m = \omega_s$

Eğer $\omega_m = \omega_s$ ise

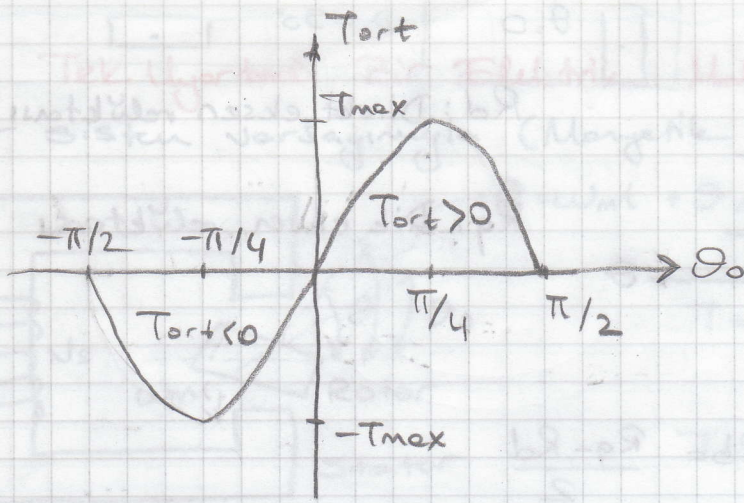
$$T_{ort} = \frac{R_b \hat{\phi}^2}{4} \cdot \sin 2\theta_0$$

$\rightarrow \theta_0$ sıfıra göre moment üretiriz.

$\theta_0 \rightarrow$ Stator ve rotor arasında faz farkı olmalı

Relüktans ve uygulanan gerilim sinusoidal değişkenler.

Bu ikisinin arasında θ_0 kadar bir faz farkı olması gerekir.



$$T_{max} = \frac{R_b \hat{\phi}^2}{4}$$

$$R_b = \frac{R_a - R_d}{2}$$

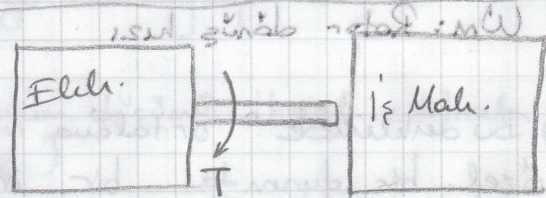
Tek Uyartımlı Elektrik Makinesinde Moment Üretimi ile İlgili Sonuçlar

- 1) Moment üretiminin gerek şartı: $\omega_m = \omega_s$
- 2) Moment üretiminin yeter şartı: $\omega_m \neq 0$
- 3) $\theta_o > 0 \Rightarrow T_{ort} > 0$ Motor çalışma
 $\theta_o = 0 \Rightarrow T_{ort} = 0$
 $\theta_o < 0 \Rightarrow T_{ort} < 0$ Generatör çalışma
- 4) $\omega_{st} = 2n\pi$ (n: tam sayı) iken
 $\phi = \hat{\phi}$ $\theta = \theta_o$ değerlerini alır.
 $\hookrightarrow \phi_{max} \rightarrow$ tepe değeri

- 5) Yık ve kayıplara karşılık gelen moment
 $T_{max} = \frac{R_b \hat{\phi}^2}{4}$ değerini aşarsa senkronizasyona girmez: 2W

Hareket halinde ise yavaşlayarak duracaktır. (Senkronizmadan sıkar.)

- 6) Generatör çalışma halinde mekanik girişten uygulanan moment ($T_{üretim} + T_{kayıp}$) değerinden büyükse, makine senkronizmadan sıkar ve hız sonsuza gider.



$$F = m \cdot a$$

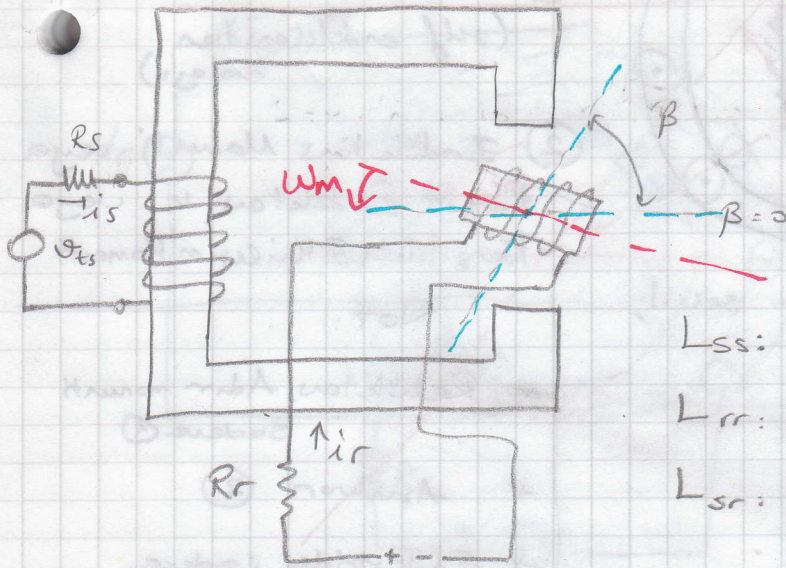
$$T = J \cdot \alpha$$

$$T = J \frac{d\omega}{dt}$$

$$T_{ms} + T_{yük} = J \frac{d\omega}{dt}$$

* Bu şartlar, makinelerin sapıları stator yerine rotorda da olsa değişmezdir. Yine $\omega_s = \omega_m$ olmalıdır.

Gift Uyarımlı Elektrik Makinalarında Moment Üretimi



Magnetik olarak Linear Sistem varsayımıyla;

$$W_{mag} = \frac{1}{2} i_s^2 L_{ss} + i_s \cdot i_r L_{sr} + \frac{1}{2} i_r^2 L_{rr}$$

L_{ss} : Stator sargısı self endüktansı

L_{rr} : rotor " " "

L_{sr} : Stator - Rotor arası karşit (kuplaj) endüktansı

$$i_s \rightarrow \lambda_r$$

$$i_r \rightarrow \lambda_s$$

* Karşit endüktans $\Rightarrow$ Stator alımı rotor sargılarını ne şekilde etkiler veya rotorda kaç voltluk bir enerji elde edilir.



Aynı şekilde rotor alımının stator sargılarını etkilemesi

* Geriye dönük moment ifadesi (Magnetik olarak linear olduğu varsayımı) [dayna ihmal]

$$T = \frac{\partial W_{mag}}{\partial \beta} = \frac{1}{2} i_s^2 \frac{dL_{ss}}{d\beta} + i_s \cdot i_r \frac{dL_{sr}}{d\beta} + \frac{1}{2} i_r^2 \frac{dL_{rr}}{d\beta}$$

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

* Bu 3 ifadeden birini yok etmemiz lazım. (W_r ya W_s ya da W_r ye eşit olur, ikisine eşit olamaz.)

* ① in sıfırdan farklı olması için L_{ss} ile W_s 'e eşit Aynı şekilde ③ 'te de L_{rr} W_{rr} ye eşit olursa sıfırdan farklı olur.

③ 'ü yok etmeli için geometrik bir değişim gerekmektedir.

$\Rightarrow$ Sinüs benzetmeli için tek bir yere 30 sargı kullanılabileceği dikkate alınarak koyuyoruz. Dağıtılmış sargı

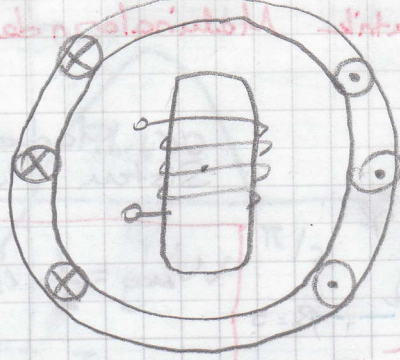


(Güç Kutuplu Serle)

indüktif transistör

abnormalite

indüktif



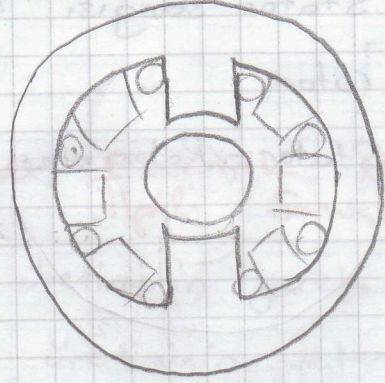
① Relüktans Momenti

③ u u (self endüktans dalgası)

② Endüktans Momenti veya Karşıt Endüktans u veya Karşılıklı Etkileşim Momenti

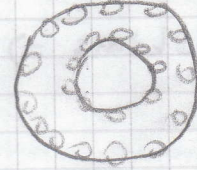
Sadece ② ve ③ için geometrik serili;

okuklardan dolayı ①'den çok yüksek bir moment dalgası üretilir.



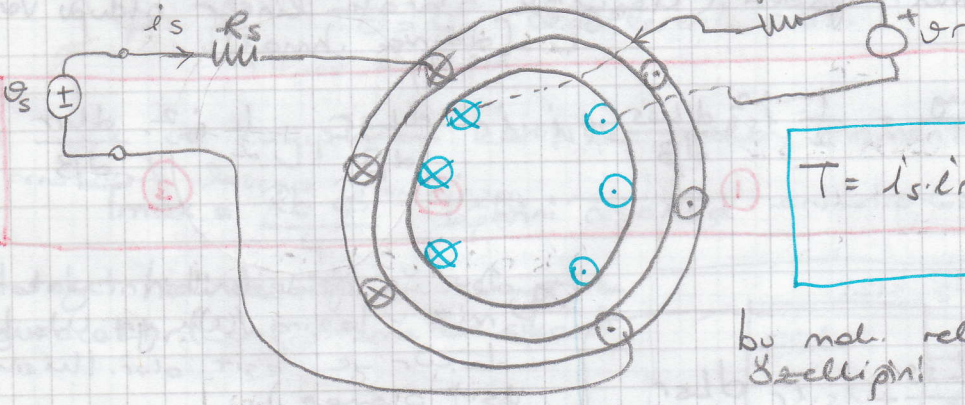
NOT:

- * Relüktans, Adım momenti sadece ①
- * Anahar ②
- * Endüstride sadece ②'ye bağlı malınalar yapılmak isteniyor.



→ Mikhemel silindir ②, ③

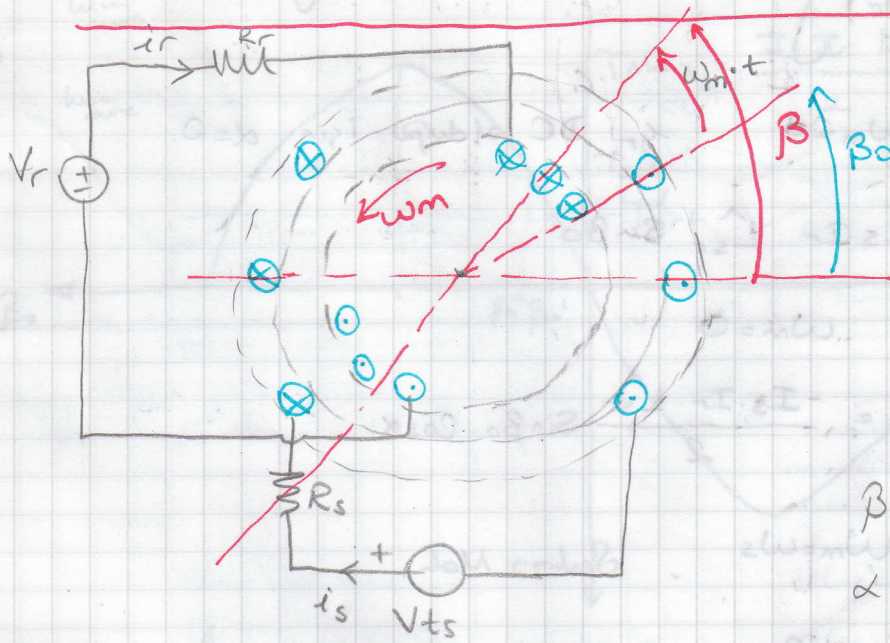
$$T = \frac{i_s^2}{2} \frac{dL_{ss}}{d\beta} + i_s i_r \frac{dL_{sr}}{d\beta} \rightarrow L_{ss} \text{ yi yok etmeli isin}$$



$$T = i_s i_r \frac{dL_{sr}}{d\beta}$$

bu mal. relüktans mal. bağıllığını kaybetti

GİFT Uyarımlı Silindirik BİR Elektrik Makinasının Moment Denklemi



β_0 : $t=0$ anında stator ve rotor sargıları arasındaki açı

$\beta_0 = 0 \Rightarrow$ Stator ve rotor manyetik eksenleri aynıdır. Sargılar aynı hızdadır.

$\beta \rightarrow$ uzaydaki açısal fark

$\alpha \rightarrow$ zamandaki açısal fark

① $L_{sr} = \hat{L}_{sr} \cos \beta$

② $i_s = \hat{i}_s \cos \omega_s t$

③ $i_r = \hat{i}_r \cos(\omega_r t + \alpha) \rightarrow \alpha = t=0$ anındaki rotora gönderilen sinyalin aşırı Statora göre t zamanında rotor ne hıza ilerde veya geride.

$$\omega_m = \frac{d\beta}{dt}$$

④ $\beta = \omega_m t + \beta_0$

$$\Rightarrow T = i_s \cdot i_r \frac{dL_{sr}}{d\beta} = -\hat{i}_s \hat{i}_r \hat{L}_{sr} \cos \omega_s t \cos(\omega_r t + \alpha) \sin(\omega_m t + \beta_0)$$

$$\cos A \cos B = \frac{1}{2} \cos(A+B) + \frac{1}{2} \cos(A-B)$$

$$\cos A \sin C = \frac{1}{2} \sin(A+C) + \frac{1}{2} \sin(C-A)$$

$$T = K \cdot \cos A \cdot \cos B \cdot \sin C$$

$$T = -\frac{\hat{i}_s \hat{i}_r \hat{L}_{sr}}{4} \left[\sin[(\omega_m + (\omega_s + \omega_r))t + \alpha + \beta_0] \right.$$

$$+ \sin[(\omega_m - (\omega_s + \omega_r))t - \alpha + \beta_0]$$

$$+ \sin[(\omega_m + (\omega_s - \omega_r))t - \alpha + \beta_0]$$

$$+ \sin[(\omega_m - (\omega_s - \omega_r))t + \alpha + \beta_0] \text{ Nm}$$

$$\left. \begin{aligned} |W_m| &= |W_s \pm W_r| \\ W_m &= \pm (W_s \pm W_r) \end{aligned} \right\} T_{ort} \neq 0 \text{ olması için gereklî şart}$$

özel durumlar:

① $W_s = W_r = 0 \Rightarrow W_m = 0$ i_r DC olduğu için $\alpha = 0$

$$T_{ort} = T = -I_s I_r \hat{L}_{sr} \sin \beta_0$$

② $W_s = |W_r| \quad W_m = 0$

$$T_{ort} = \frac{-I_s I_r \hat{L}_{sr}}{2} \sin \beta_0 \cos \alpha$$

③ (dc singet) (ac alıcı) $W_r = 0, W_s \neq 0 \quad W_m = W_s$

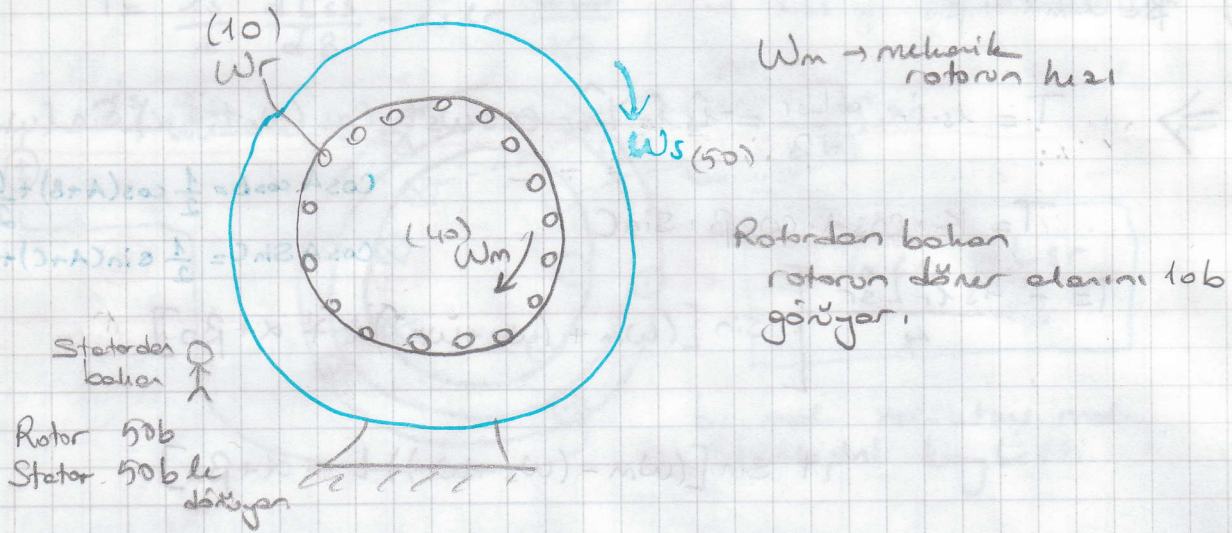
Senkron Mak.

$$T_{ort} = \frac{-I_s I_r \hat{L}_{sr}}{2} \sin \beta_0$$

④ $W_s \neq W_r \quad W_m = W_s - W_r$

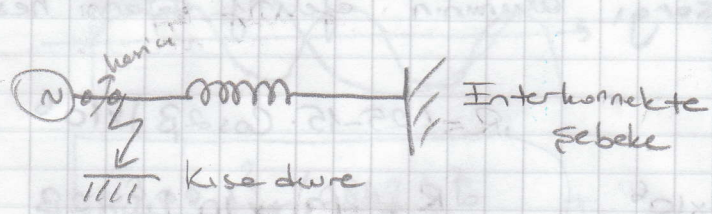
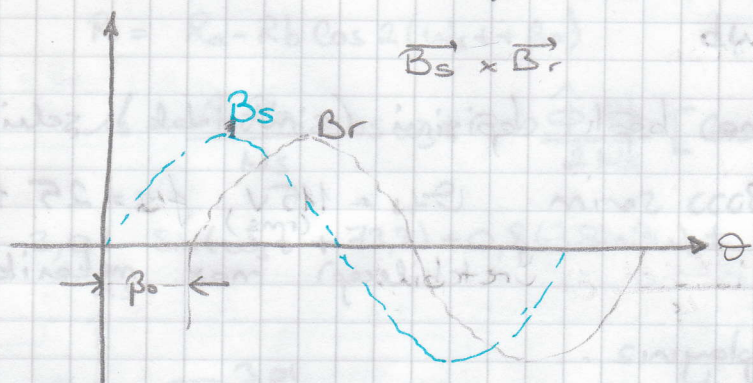
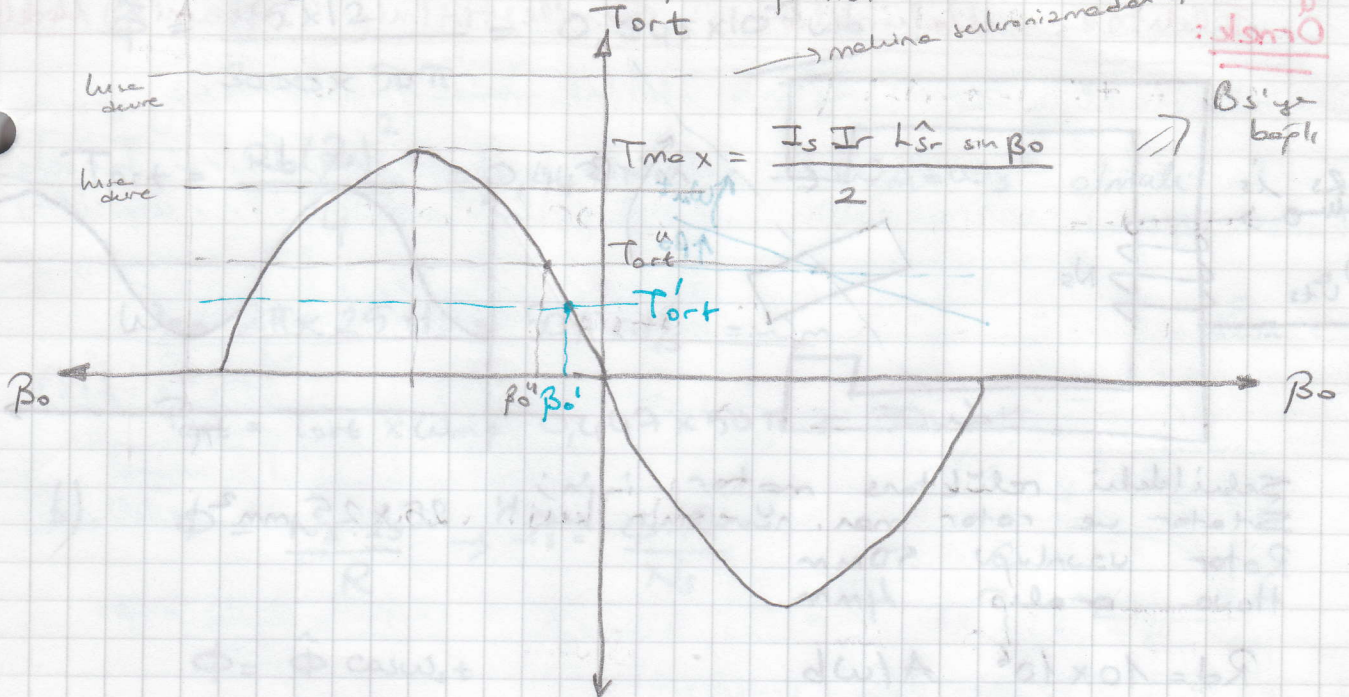
Asenkron Mak.

$$T_{ort} = \frac{-I_s I_r \hat{L}_{ss}}{4} \sin(\alpha + \beta_0)$$

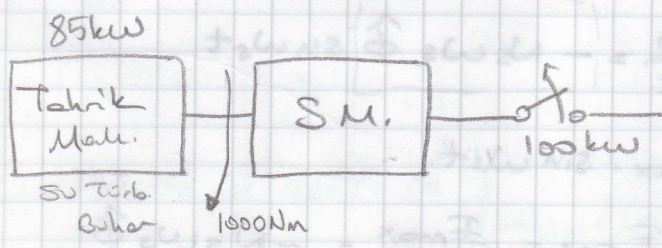


↓
tüm makineler senkron makinedir.

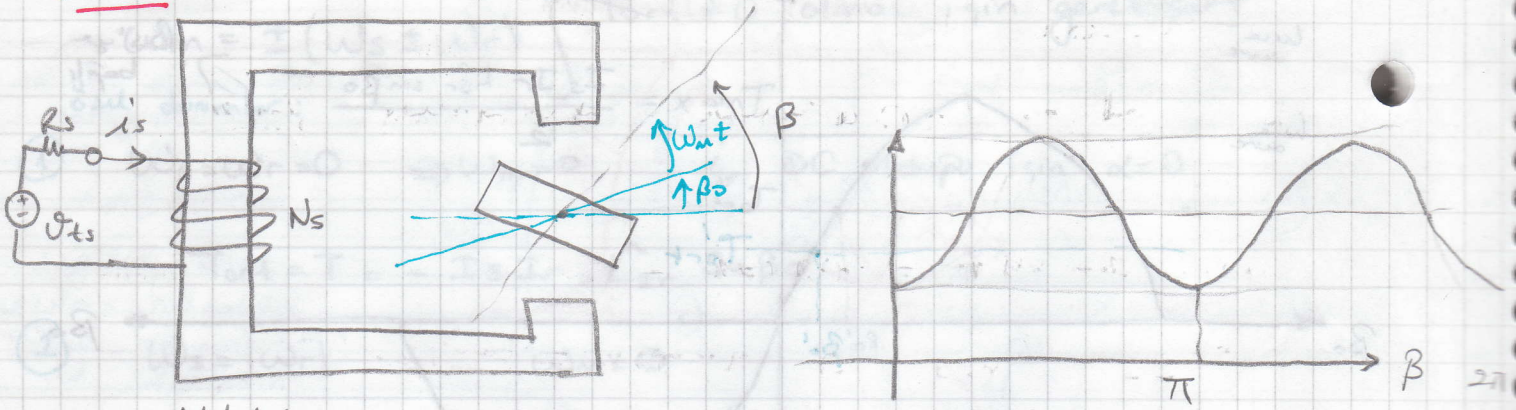
$\omega_m = \omega_s \rightarrow$ Ortalama momentin β_0 bağlantısı



Kericiyle devreyi açtıktan sonra bu sefer T_{ort} negatife geçecek ve eğer müdahale edilmezse T_{min} altına inip maline senkronizmadan sıkacak



Örnek:



Şekildeki relüktans motor için;
Stator ve rotor max. nüvesinin kesiti $25 \times 25 \text{ mm}^2$
Rotor uzunluğu 50 mm
Hava aralığı 4 mm

$$R_d = 10 \times 10^6 \text{ A/Wb}$$

$$R_g = 40 \times 10^6 \text{ A/Wb}$$

Relüktansın β açısına bağlı değişimini (sinüoidal) şekilde gösterilmiştir. $N_s = 3000$ sarım $V_{ts} = 115 \text{ V}_{\text{rms}}$ $f_s = 25 \text{ Hz}$

a) Bu makinenin üretileceği max mekanik güç değerini hesaplayınız.

b) Bu durumda sarğı alüminin efektif değerini hesapla

$$a) R = R_a - R_b \cos 2\beta$$

$$R_a = \frac{R_g + R_d}{2} = 25 \times 10^6$$

$$R_b = \frac{R_g - R_d}{2} = 15 \times 10^6$$

$$R = (25 - 15 \cdot \cos 2\beta) \times 10^6$$

$$\frac{dR}{d\beta} = (30 \times 10^6) \sin 2\beta$$

$$\Phi = \hat{\Phi} \cos \omega_s t$$

$$e = N_s \frac{d\Phi}{dt} = -N_s \omega_s \hat{\Phi} \sin \omega_s t$$

$$e = E_{\text{max}} \cdot \sin \omega_s t$$

$$E_{\text{eff}} = E_{\text{rms}} = \frac{E_{\text{max}}}{\sqrt{2}} = \frac{-N_s \omega_s \hat{\Phi}}{\sqrt{2}}$$

* R_s 'deki gerilim düşümünü ihmal ederek, varsayım yaparsak;

$$\frac{N_s \omega_s \hat{\Phi}}{\sqrt{2}} = V_{ts}$$

Induktiv $\hat{\Phi} = \frac{115 \times \sqrt{2}}{3000 \times 50\pi} = 0,345 \times 10^{-3} \text{ Wb}$ Relativ $\hat{\Phi}$

$$T_{\text{ort}} = \frac{R_b(\hat{\Phi})^2}{4} = 0,447 \text{ Nm} \rightarrow \omega_m = \omega_s \text{ o/male}$$

$$\omega_s = 2\pi \times 25 \text{ Hz} = 50\pi \text{ rad/s} = \omega_m$$

$$P_{\text{ort}} = T_{\text{ort}} \times \omega_m = 0,447 \times 50\pi = 70 \text{ Wbtt}$$

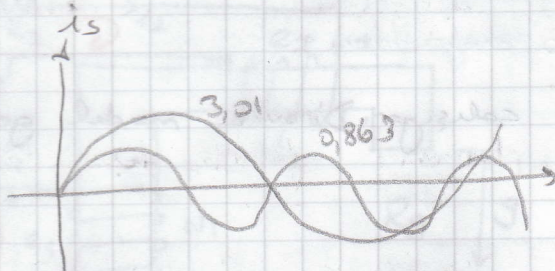
b) $\Phi = \frac{N_s \cdot i_s}{R} \rightarrow i_s = \frac{\Phi \cdot R}{N_s}$

$$\Phi = \hat{\Phi} \cos \omega_s t$$

$$R = R_a - R_b \cos 2(\omega_s t + \beta_0)$$

$$i_s = \frac{\hat{\Phi} R_a}{N_s} \cos \omega_s t - \frac{\hat{\Phi} R_b}{2 N_s} [\cos(\omega_s t + 2\beta_0) + \cos(3\omega_s t + 2\beta_0)]$$

$$i_s = 3,01 \sin(\omega_s t + 73,3) + 0,863 \sin 3\omega_s t$$

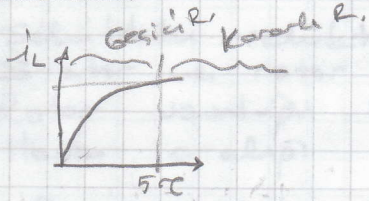


$$\sqrt{\left(\frac{3,01}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{0,863}{\sqrt{2}}\right)^2} = I_{s \text{ eff}} = 2,21 \text{ Amp.}$$

Elektrik Makinalarının Geliştirilmiş (Dinamik) Modelleri

Dinamik model: Geçici rejimde elektrik mak. modellenmesi

Statik model: Elektrik Mak. şebekeye bağlandıktan belirli bir süre (kararlı rejimde) sonrasındaki akım, gerilim, moment vs. değişimi

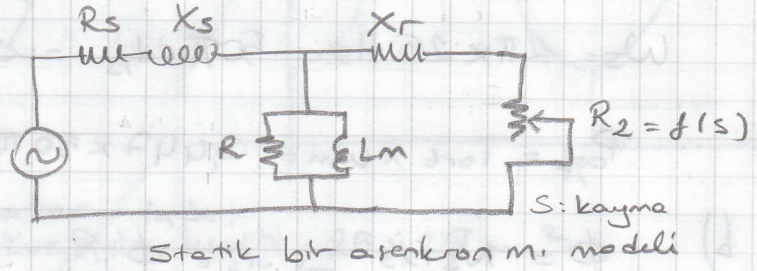


$t_0 \rightarrow 5\tau$

Geçici Rejim (Transient)

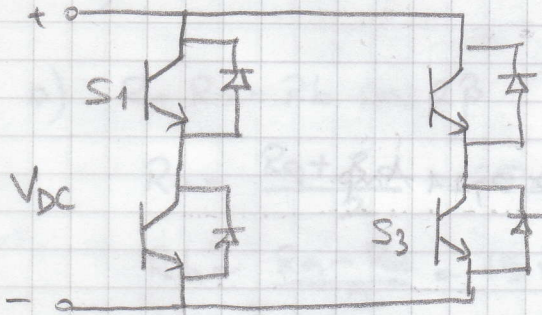
$$\tau = \frac{L}{R}$$

* Neden dinamik model



Statik bir asenkron m. modeli

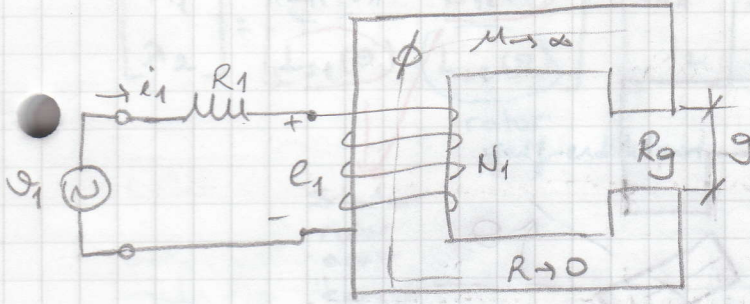
Devrenin kendisi sürekli geçici rejimde çalışıyor. Dinamik model gerekli



- Diferansiyel denklemler
 - Zamanla bağlı değişken parametreler
- } $\Rightarrow$ Dinamik model

$$\lambda_1 = N_1 \cdot \phi$$

R_g : Hava aralığı relüktansı



$$V_1 = R_1 \cdot i_1 + e_1$$

$$V_1 = R_1 \cdot i_1 + \frac{d\lambda_1}{dt}$$

bu sistemlerde elektrik terminali derk. bu formatta yazılıyor.

$$\phi = \frac{N_1 \cdot i_1}{\Sigma R} = \frac{N_1 \cdot i_1}{R_g}$$

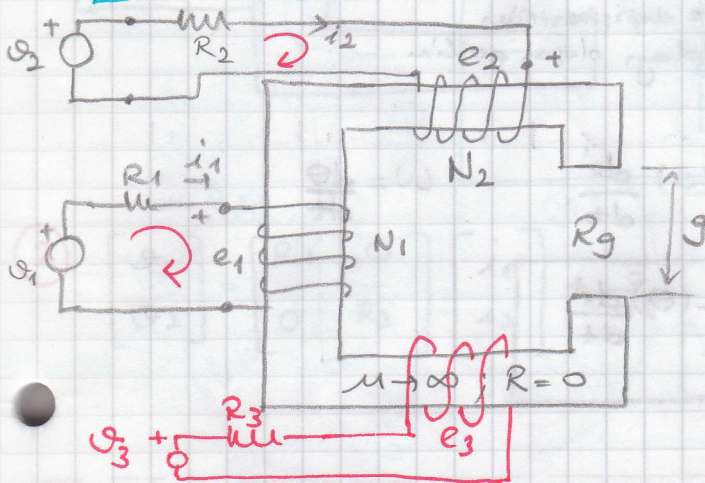
$$\lambda_1 = N_1 \cdot \phi$$

$$\lambda_1 = \frac{N_1^2 \cdot i_1}{R_g}$$

$$\Rightarrow \lambda_1 = L_1 \cdot i_1$$

$$V_1 = R_1 \cdot i_1 + \frac{d}{dt} L_1 \cdot i_1$$

$$V_1 = R_1 \cdot i_1 + L_1 \frac{di_1}{dt}$$



$$V_1 = R_1 \cdot i_1 + e_1$$

$$V_2 = R_2 \cdot i_2 + e_2$$

$$e_1 = \frac{d\lambda_1}{dt}$$

$$\lambda_1 = \lambda_{11} + \lambda_{12}$$

$$\lambda_1 = L_{11} i_1 + L_{12} i_2$$

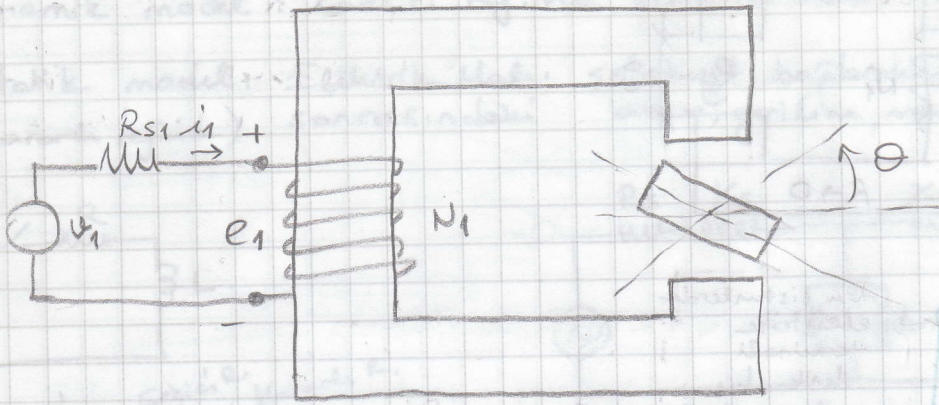
$$\lambda_2 = L_{12} i_1 + L_{22} i_2$$

$$V_1 = R_1 \cdot i_1 + \frac{d}{dt} (L_{11} \cdot i_1 + L_{12} \cdot i_2)$$

$$V_2 = R_2 \cdot i_2 + \frac{d}{dt} (L_{21} \cdot i_1 + L_{22} \cdot i_2)$$

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1 & 0 \\ 0 & R_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_{11} & L_{12} \\ L_{21} & L_{22} \end{bmatrix} \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1 & 0 & 0 \\ 0 & R_2 & 0 \\ 0 & 0 & R_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_{11} & L_{12} & L_{13} \\ L_{21} & L_{22} & L_{23} \\ L_{31} & L_{32} & L_{33} \end{bmatrix} \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \end{bmatrix}$$



$$V_1 = R_1 \cdot i_1 + e_1$$

$$\lambda_1 = f(\theta)$$

$$\lambda_1 = L_1 \cdot i_1 \Rightarrow \lambda_1 = L_1(\theta) i_1$$

$$V_1 = R_1 \cdot i_1 + \frac{d\lambda_1}{dt}$$

$$V_1 = R_1 \cdot i_1 + \frac{d}{d\theta} L(\theta) \cdot i_1$$

$$* V_1 = R_1 \cdot i_1 + \underbrace{i_1 \frac{dL(\theta)}{d\theta}}_{\text{Hiz Gerilimi}} + \underbrace{L(\theta) \frac{di}{dt}}_{\text{indüktans}} \quad \text{Hiz Gerilimi}$$

endüktans
zaman göre
değişiminden
dolayı oluşan gerilim

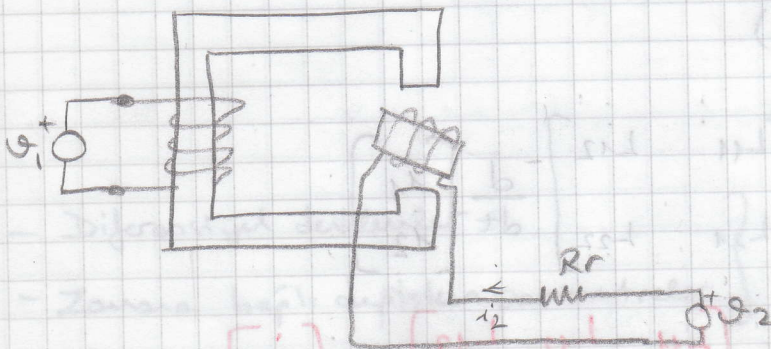
akımın zamana
göre değişiminden
dolayı oluşan gerilim

$$V_1 = R_1 \cdot i_1 + i_1 \cdot \frac{dL(\theta)}{d\theta} \cdot \frac{d\theta}{dt} + L(\theta) \frac{di}{dt}$$

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

$$V_1 = R_1 \cdot i_1 + i_1 \cdot \omega \frac{dL(\theta)}{d\theta} + L(\theta) \frac{di}{dt}$$

* Sargı rotor da olsaydı;



$$V_1 = R_1 \cdot i_1 + e_1$$

$$V_2 = R_2 \cdot i_2 + e_2$$

$$e_1 = \frac{d}{dt} \lambda_1$$

$$e_2 = \frac{d}{dt} \lambda_2$$

$$\lambda_1 = L_{11}(\theta) i_1 + L_{12}(\theta) i_2 \quad (\text{stator için})$$

$$\lambda_2 = L_{21}(\theta) i_1 + L_{22}(\theta) i_2 \quad (\text{rotor için})$$

stator self-enerktaşın

$$\begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{11}(\theta) & L_{12}(\theta) \\ L_{21}(\theta) & L_{22}(\theta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix}$$

rotor self-enerktaşın

rotor tarafından geçen mekanik denklemler

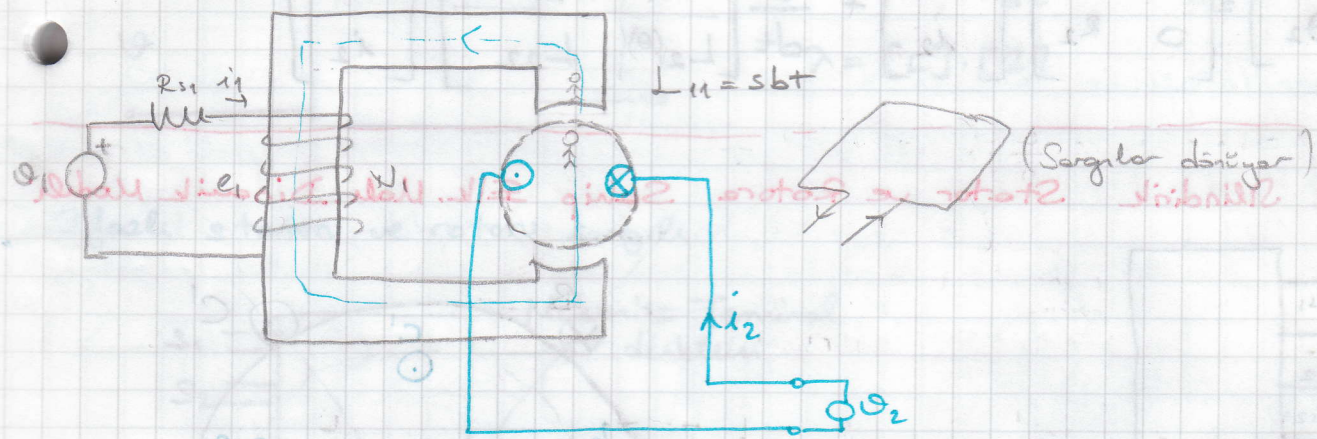
* Bu sistemi gözlemek için 2 elektriksel ve 1 mekanik denklemler çıkarılması gerekir.

Stator rotor arası karşılıklı endüktans

1) nolu denklemler $\Rightarrow$ Her statoru her rotoru sıfır kutuplu Etki Maksimum

$$\begin{bmatrix} \vartheta_1 \\ \vartheta_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1 & 0 \\ 0 & R_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} L_{11}(\theta) & L_{12}(\theta) \\ L_{21}(\theta) & L_{22}(\theta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix} \Rightarrow \text{stator ve rotorun elektriksel terminal denklemleri}$$

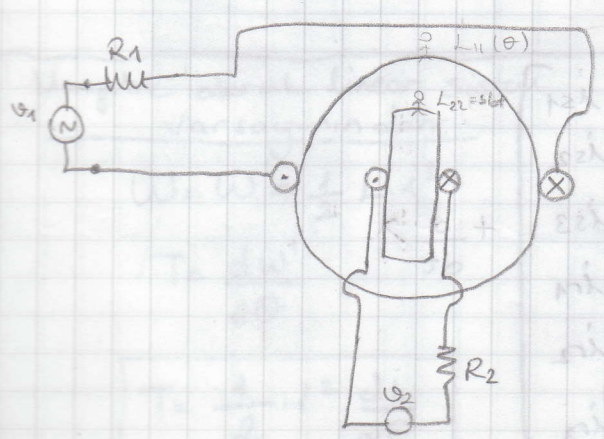
* Sadece statoru sıfır kutuplu, rotoru silindirik denklemler



2)

$$\begin{bmatrix} \vartheta_1 \\ \vartheta_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1 & 0 \\ 0 & R_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} L_{11} & L_{12}(\theta) \\ L_{21}(\theta) & L_{22}(\theta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix}$$

* Sadece rotoru sıfır kutuplu, statoru silindirik

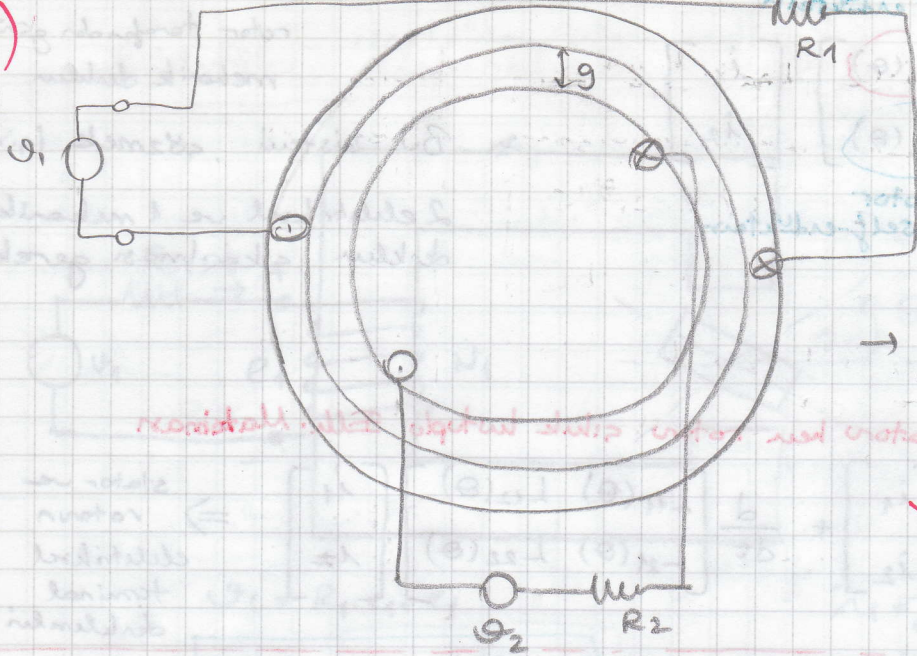


3)

$$\begin{bmatrix} \vartheta_1 \\ \vartheta_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1 & 0 \\ 0 & R_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} L_{11}(\theta) & L_{12}(\theta) \\ L_{21}(\theta) & L_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix}$$

Sıfır kutuplu senk. mak.

4)



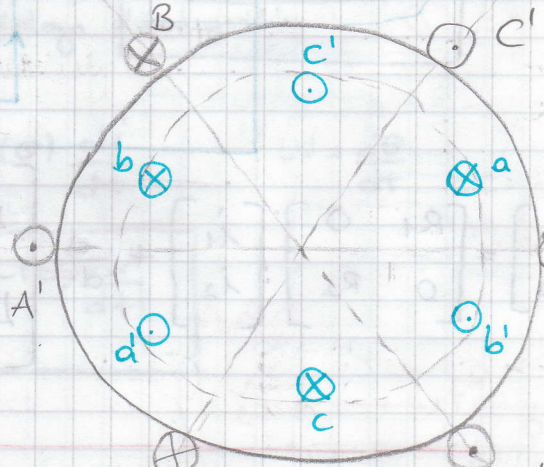
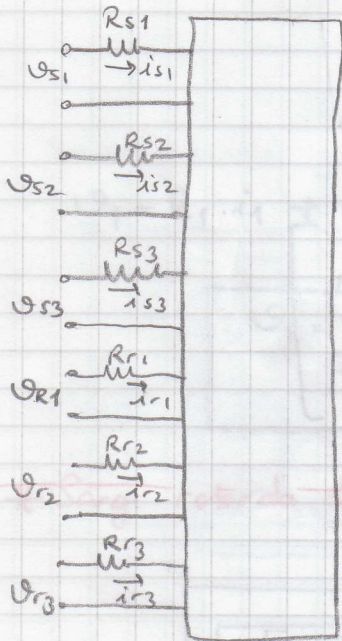
→ Her stator her rotor mükemmel silindir

A senkron Motor

Yuvallalı kutuplu Selh.
= Turbo Gen.

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1 & 0 \\ 0 & R_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} L_{11} & L_{21}(\theta) \\ L_{21}(\theta) & L_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix}$$

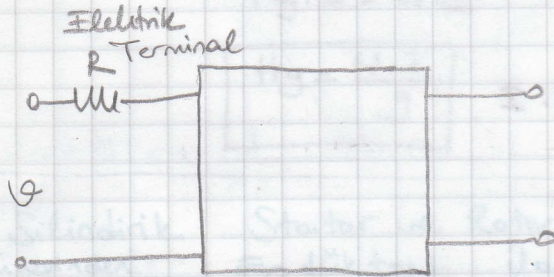
3 Fazlı Silindirik Stator ve Rotora Sahip İlk. Mak. Dinamik Modeli



$$\begin{bmatrix} V_{s1} \\ V_{s2} \\ V_{s3} \\ V_{r1} \\ V_{r2} \\ V_{r3} \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} R_{s1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & R_{s2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & R_{s3} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & R_{r1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & R_{r2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & R_{r3} \end{bmatrix}}_{[R]} \underbrace{\begin{bmatrix} i_{s1} \\ i_{s2} \\ i_{s3} \\ i_{r1} \\ i_{r2} \\ i_{r3} \end{bmatrix}}_{[I]} + \frac{d}{dt} \lambda$$

$$\begin{bmatrix} L_{AA} & L_{AB} & L_{AC} & L_{Aa}(\theta) & L_{Ab}(\theta) & L_{Ac}(\theta) \\ L_{BA} & L_{BB} & L_{BC} & L_{Ba}(\theta) & L_{Bb}(\theta) & L_{Bc}(\theta) \\ L_{CA} & L_{CB} & L_{CC} & L_{Ca}(\theta) & L_{Cb}(\theta) & L_{Cc}(\theta) \\ L_{aA}(\theta) & L_{aB}(\theta) & L_{aC}(\theta) & L_{aa} & L_{ab} & L_{ac} \\ L_{bA}(\theta) & L_{bB}(\theta) & L_{bC}(\theta) & L_{ba} & L_{bb} & L_{bc} \\ L_{cA}(\theta) & L_{cB}(\theta) & L_{cC}(\theta) & L_{ca} & L_{cb} & L_{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{s1} \\ i_{s2} \\ i_{s3} \\ i_{r1} \\ i_{r2} \\ i_{r3} \end{bmatrix}$$

$\underbrace{\hspace{15em}}_{[L]} \quad \underbrace{\hspace{15em}}_{[I]}$

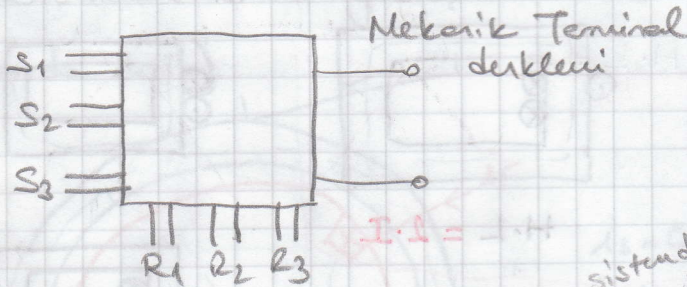


$$V = R \cdot i + \frac{d\lambda}{dt}$$

$$\lambda = [L] \cdot [I]$$

15.04.2010

3 fazlı statör ve rotor sargılı



Mekanik Terminal Denklemleri

$$T_m + T_e = J \frac{d^2\theta}{dt^2} + B \frac{d\theta}{dt} + K\theta$$

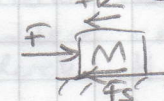
T_m : mekanik moment
 T_e : elektirik moment
 J : sistemin toplam atalet momenti
 B : sürtünme katsayısı
 $K\theta$: gerilimle kullanılmaz. ihmal edilir.

⇒ Newton'un 3. yasasından sıkıştırılmış.

$$F = m \cdot a$$

$$F = m \cdot \frac{d\theta}{dt}$$

$$F = m \cdot \frac{d^2x}{dt^2}$$



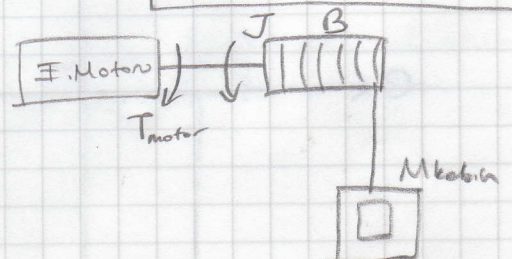
Manyetik olarak lineer sistem varsayımından

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

$$T = \frac{dW'}{d\theta}$$

$$T = \frac{1}{2} \cdot i^2 \cdot \frac{dL}{d\theta}$$

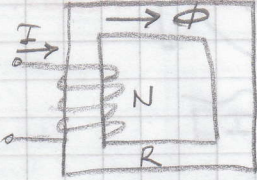
$$T_e = \frac{1}{2} [I]^T \cdot \frac{d[L]}{d\theta} [I]$$



$$T_m = J \frac{d^2 \theta}{dt^2} + B \cdot \frac{d\theta}{dt} - \frac{1}{2} [I]^T \frac{d}{dt} [L] [I]$$

toplam 7 değişken var. 3 stator, 3 rotor alanı ve θ

Elektirik Makine Manyetik Devre Modelleri ve Endüktans Hesabı



$$T = \frac{1}{2} [I]^T \frac{d}{dt} [L(\theta)] [I]$$

$$\lambda = N \cdot \Phi$$

$$\Phi = \frac{N \cdot I}{R}$$

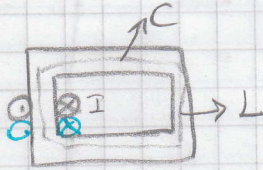
$$\lambda = \frac{N^2}{R} \cdot I$$

$$\lambda = [L] \cdot I$$

Amper Yasası:

$$\oint_C \vec{H} \cdot d\vec{l} = NI$$

$\vec{H}$ nin C çevresindeki çevreli integrali alındığında
o çevrenin halka sayısı toplam alan miktarı bulunur.

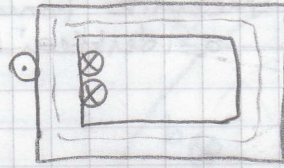


$$H \cdot L = I$$

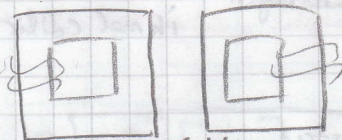
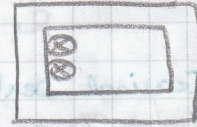
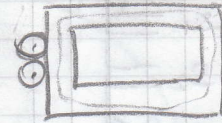
$$H \cdot L = 2I$$

$$H \cdot L = N \cdot I$$

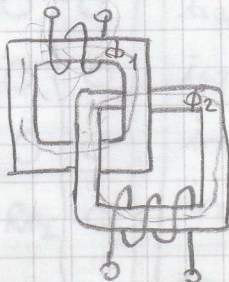
$$H = \frac{NI}{L}$$



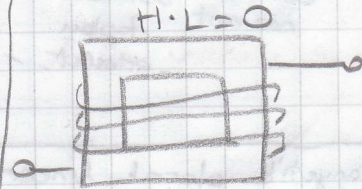
$$H \cdot L = 2 \cdot I$$



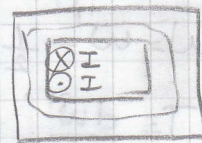
birbirini etkilemez



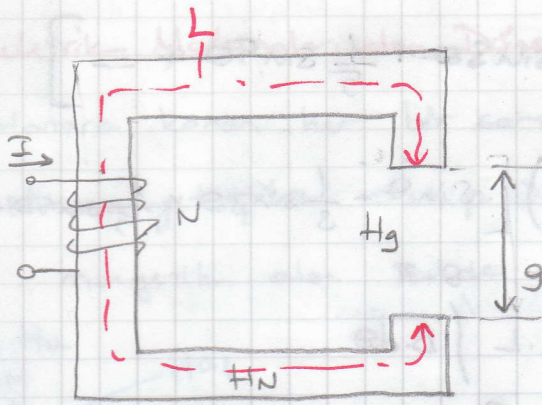
Akılar birbirini etkilemez



$$H \cdot L = 0$$



$$H \cdot L = 0$$



sonlu

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu \cdot \mathbf{H} \cdot \mathbf{l} \rightarrow 0$$

$$\downarrow$$

$$\infty$$

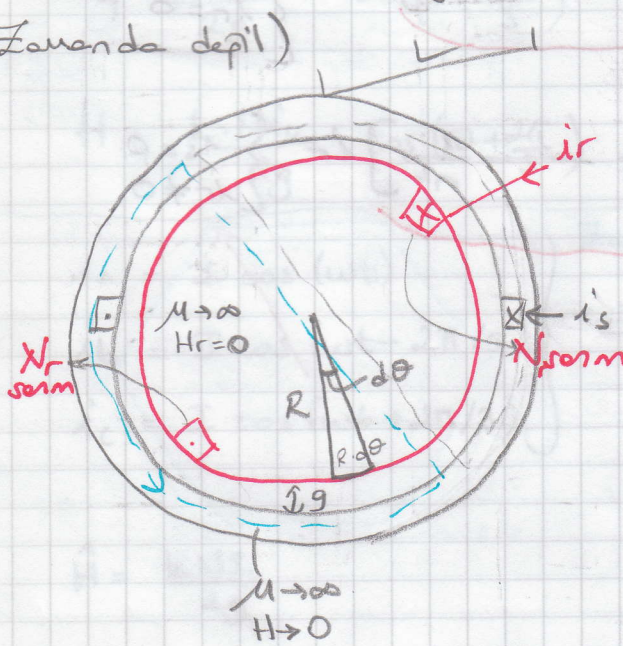
$$\oint \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = H_L \cdot L + H_g \cdot g = N \cdot I$$

$$H_g \cdot g = N \cdot I$$

$$H_g = \frac{N \cdot I}{g}$$

Silindirik Stator ve Rotora sahip Konsantre sargılı bir Elu. Makinelerinde Endüktans ifadesi

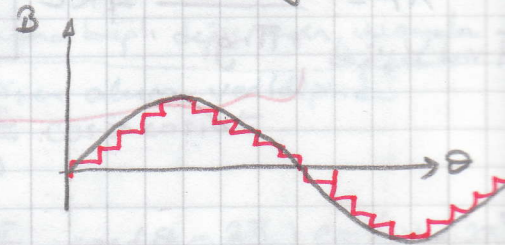
- ⊗ Moment salınımını 0'a yaklaştırmak için hava aralığı altında oluşan alan sinüse yaklaşmalıdır. (Uzayda tanımlı olacak şekilde) (Zamanda değil)



$$i_s = 0$$

$$i_r \neq 0 = I$$

Konsantre sargı yerine dağılmış sargı kullanılırsa

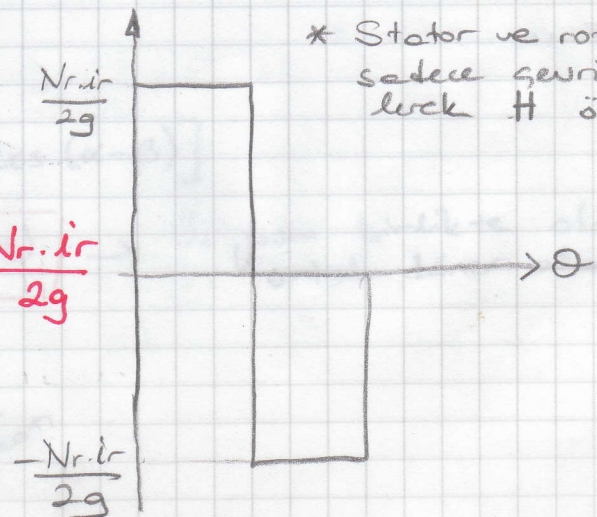


$$H_g \cdot g + H_g \cdot g = i_r$$

$$2 H_g \cdot g = i_r$$

$$H_g = \frac{i_r}{2g}$$

$$H_g = \frac{N_r \cdot i_r}{2g}$$



* Stator ve rotor sabit sadece çevrim döndürme için H ölçülen

$$H(\theta) = \frac{4}{\pi} \left(\frac{Nr ir}{2g} \right) \left[\sin \theta + \frac{1}{3} \sin 3\theta + \frac{1}{5} \sin 5\theta + \dots \right]$$

$$B(\theta) = \mu_0 \cdot H(\theta) = \mu_0 \frac{4}{\pi} \left(\frac{Nr \cdot ir}{2g} \right) \left[\sin \theta + \frac{1}{3} \sin 3\theta + \frac{1}{5} \sin 5\theta + \dots \right]$$

$$\Phi = \int_S B \cdot ds = \int_{\theta}^{\theta+\pi} B \cdot R \cdot d\theta \cdot L = R \cdot L \int_{\theta}^{\theta+\pi} B \cdot d\theta$$

$$\Phi = Nr \cdot \mu_0 \cdot \frac{ir}{\pi} \cdot 2 \frac{R \cdot L}{g} \left[-\cos \theta - \frac{1}{9} \cos 3\theta - \frac{1}{25} \cos 5\theta + \dots \right]$$

$$\lambda_{s,r} = N_s \cdot \Phi$$

$$\lambda_{s,r} = N_s \cdot Nr \cdot \mu_0 \cdot \frac{ir}{\pi} \cdot \frac{2RL}{g} \left[-\cos \theta - \frac{1}{9} \cos 3\theta - \frac{1}{25} \cos 5\theta + \dots \right]$$

$$L_{sr} = N_s Nr \mu_0 \frac{2RL}{g\pi} \left[-\cos \theta - \frac{1}{9} \cos 3\theta - \frac{1}{25} \cos 5\theta + \dots \right]$$

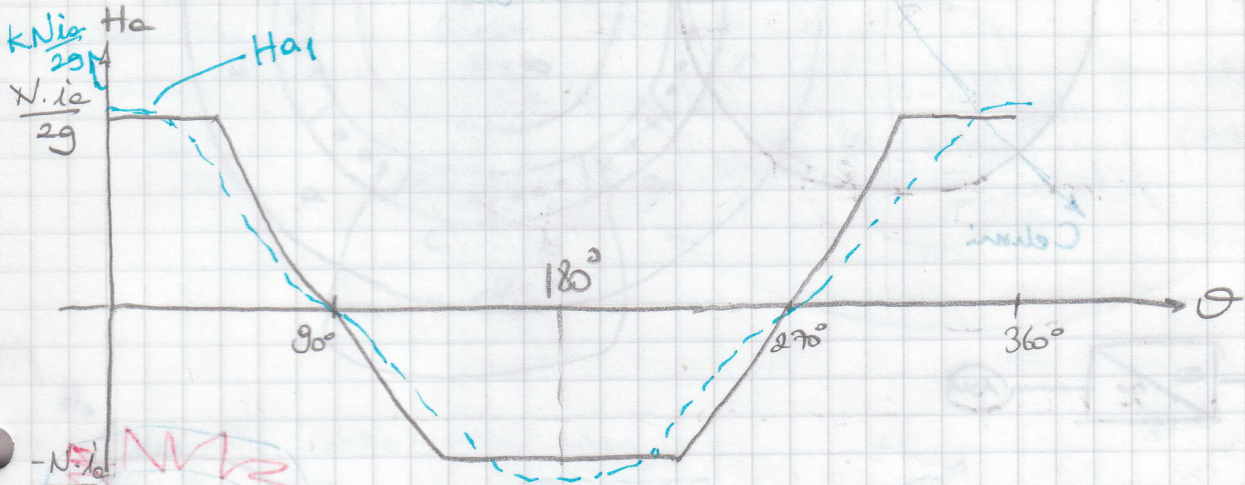
$$\lambda_s = \frac{\mu_0 \cdot N_s^2}{\pi \cdot g} 4RL \left[1 + \frac{1}{9} + \frac{1}{25} + \dots + \frac{1}{n^2} \right] i_s \quad \begin{cases} i_s \neq 0 \\ i_r = 0 \end{cases}$$

L_{ss}

$$\lambda_r = \frac{\mu_0 \cdot N_r^2}{\pi \cdot g} 4RL \left[1 + \frac{1}{9} + \frac{1}{25} + \dots + \frac{1}{n^2} \right] i_r \quad \begin{cases} i_s = 0 \\ i_r \neq 0 \end{cases}$$

L_{rr}

Statora konan her bir sargı uzayda değişen bir manyetik alan oluşturma yeteneğine sahip. Düzgün sorilmiş sargılarla ^{uzayda} sinüsoidal bir manyetik alan elde edilebilir.



$$H_{a1} = \frac{k N I_a}{2g} \cos \theta$$

$$H_{b1} = \frac{k N I_b}{2g} \cos \left(\theta - \frac{2\pi}{3} \right)$$

$$H_{c1} = \frac{k N I_c}{2g} \cos \left(\theta + \frac{2\pi}{3} \right)$$

(*) Hava aralığında değişen sinüsoidal veya cosinüsoidal bir $\vec{H}$ max. alan şiddeti.

- Statora da aynı verilen bir asenkron motor

⇒ Sabit alan, zamana bağlı değişmeyen, uzayda değişen bir $\vec{H}$

$$i_a = I \cos(\omega t)$$

$$i_b = I \cos(\omega t - 2\pi/3)$$

$$i_c = I \cos(\omega t + 2\pi/3)$$

Zamana bağlı değişen alan verildiğinde

$$H_{a1} = \frac{k N I}{2g} \cos \theta \cdot \cos \omega t$$

$$H_{b1} = \frac{k N I}{2g} \cos \left(\theta - \frac{2\pi}{3} \right) \cos \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right)$$

$$H_{c1} = \frac{k N I}{2g} \cos \left(\theta + \frac{2\pi}{3} \right) \cos \left(\omega t + \frac{2\pi}{3} \right)$$

$$\hat{H} = \frac{k N I}{2g}$$

$$\Sigma H_1 = H_{a1} + H_{b1} + H_{c1}$$

$$\cos \alpha + \cos \beta = \frac{1}{2} [\cos(\alpha + \beta) + \cos(\alpha - \beta)]$$

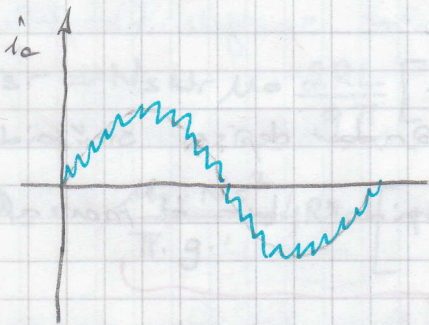
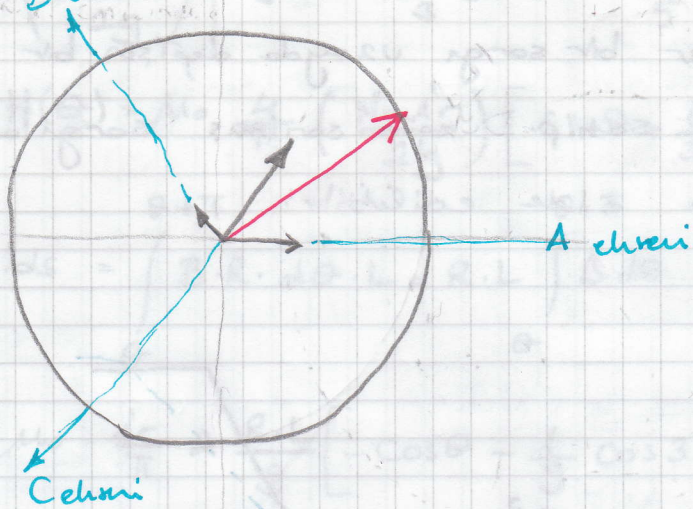
$$\Sigma H_1 = \left(\frac{3}{2} \hat{H} \right) \cos(\theta - \omega t)$$

→ Üç fazın birlikte oluşturduğu ortak döner alan

bir fazın manyetik alan şiddetinin 1.5 katı

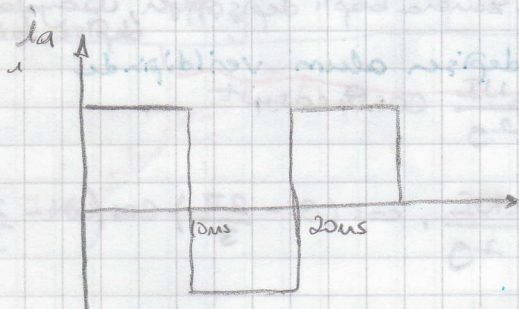
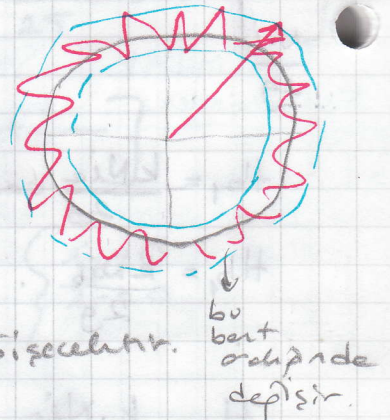
01.02.2010

Elektrik Motorunda Döner Alan Oluşturmak İçin



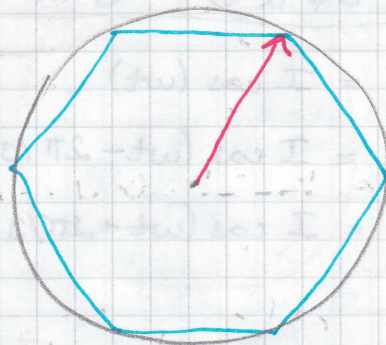
Her $\frac{1}{2}$ da aynı

$\Rightarrow$ Yine döner alan oluşur ama toplam vektörün büyüklüğü değişmez.



$\Rightarrow$ Her $\frac{1}{2}$ in tersi

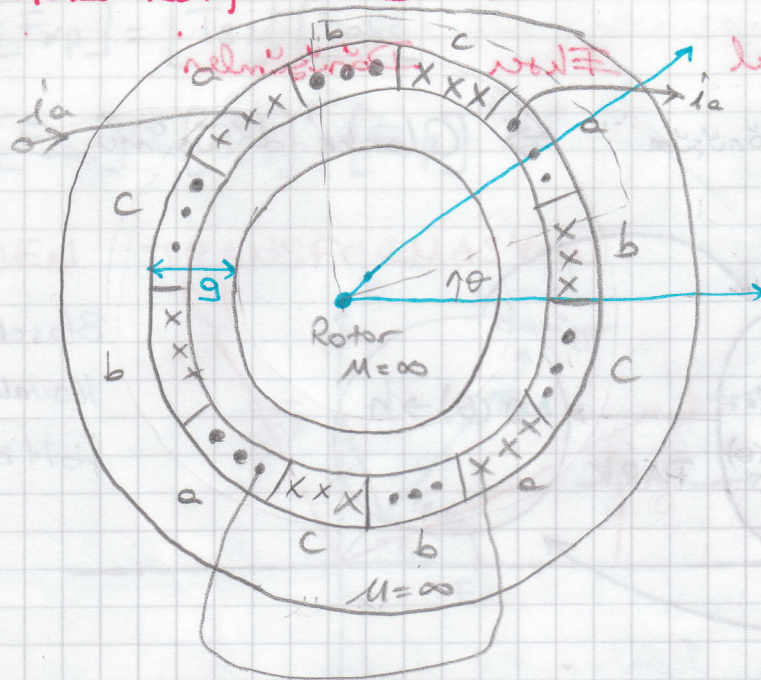
$\Rightarrow$



Space vectors

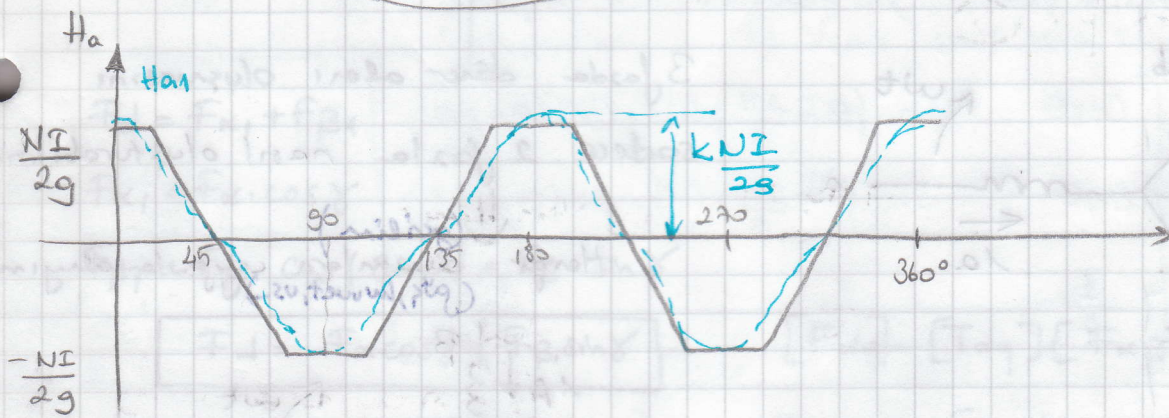
$$\vec{A} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos(\theta) \\ \sin(\theta) \\ 1 \end{bmatrix}$$

Çok Kutuplu Bir Etk. Makinesinde Döner Alan



Her faz için

4 kutup
(2 kutup çifti)



p: tek kutup sayısı olarak alınmış

$$H_{a1} = \frac{k N i_a}{2g} \cos\left(\frac{p}{2} \theta\right)$$

$$\frac{k N I}{2g} = \hat{H}$$

$$H_{b1} = \frac{k N i_b}{2g} \cdot \cos\left(\frac{p}{2} \theta - \frac{2\pi}{3}\right)$$

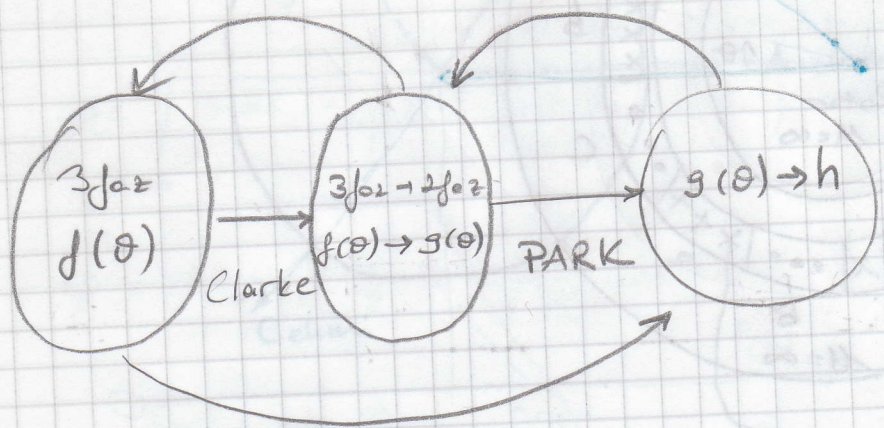
$$H_{c1} = \frac{k N i_c}{2g} \cos\left(\frac{p}{2} \theta + \frac{2\pi}{3}\right)$$

$$\Sigma H_1 = H_{a1} + H_{b1} + H_{c1} = \frac{3}{2} \hat{H} \cos\left(\frac{p}{2} \theta - \omega t\right)$$

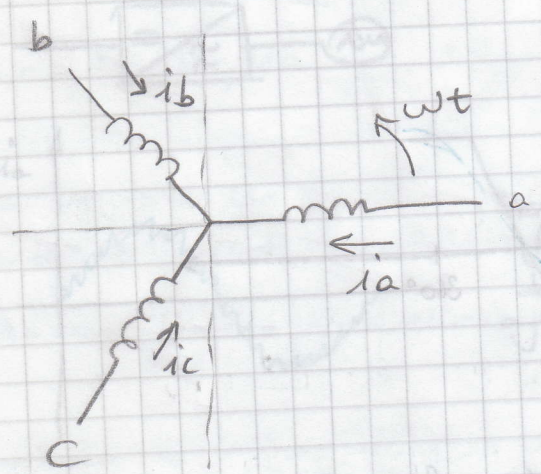
notA miG. abnmanim. NFE -18. wqutw wop

Matematiksel Eksen Dönüşümleri

3 fazdan iki faze dönüşüm $\Rightarrow$ Clarke dönüşümü

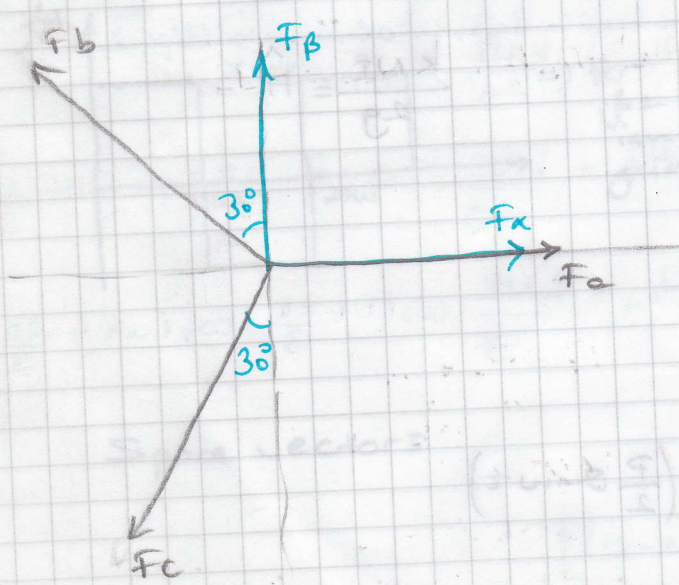
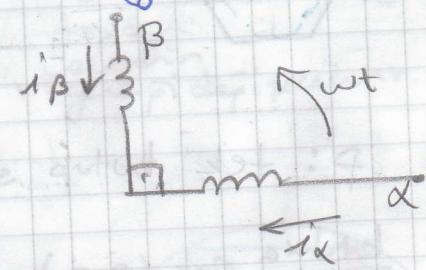


Blasche
Kovaks
Holtz



3 fazda döner alanı oluşmasını
sadece 2 faze nasıl oluşturabiliyim?

Hangi ^(gerilim) alanları yapabiliriz?
(güç, kuvvet, vs.)



$$F_{\alpha} = F_a - F_b \sin 30^{\circ} - F_c \sin 30^{\circ}$$

$$F_{\beta} = F_b \cos 30^{\circ} - F_c \cos 30^{\circ}$$

$$F_{\alpha} = F_a - \frac{F_b}{2} - \frac{F_c}{2}$$

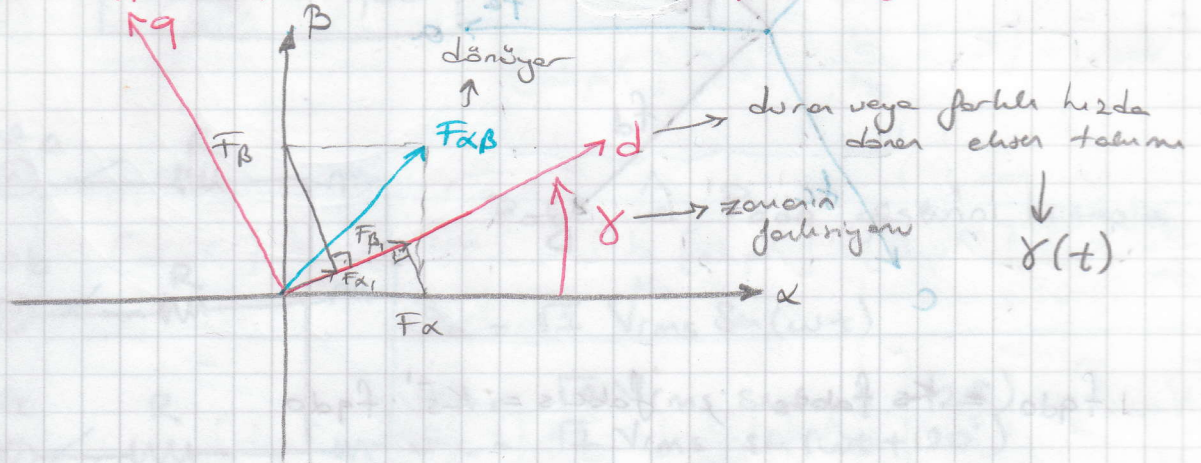
$$F_{\beta} = \frac{F_b \cdot \sqrt{3}}{2} - \frac{F_c \cdot \sqrt{3}}{2}$$

$$\begin{bmatrix} F_{\alpha} \\ F_{\beta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_a \\ F_b \\ F_c \end{bmatrix}$$

$$[F_{\alpha\beta}] = [T_{32}] [F_{abc}]$$

$$[F_{abc}] = [T_{32}]^T \cdot [F_{\alpha\beta}]$$

DÖNEN TRANSFORMASYON MATRİSİ



$$F_d = F_{\alpha} + F_{\beta}$$

$$F_{\alpha} = F_d \cos \delta$$

$$F_{\beta} = F_d \cos(90 - \delta) = F_d \sin \delta$$

$$F_d = F_{\alpha} \cos \delta + F_{\beta} \sin \delta$$

$$F_q = -F_{\alpha} \sin \delta + F_{\beta} \cos \delta$$

$$[F_{dq}] = [T_{dq}] [F_{\alpha\beta}]$$

$$[T_{dq}] = \begin{bmatrix} \cos \delta & \sin \delta \\ -\sin \delta & \cos \delta \end{bmatrix}$$

$$[F_{\alpha\beta}] = [T_{dq}]^T [F_{dq}]$$

Genelleştirilmiş Eksen Dönüşümleri

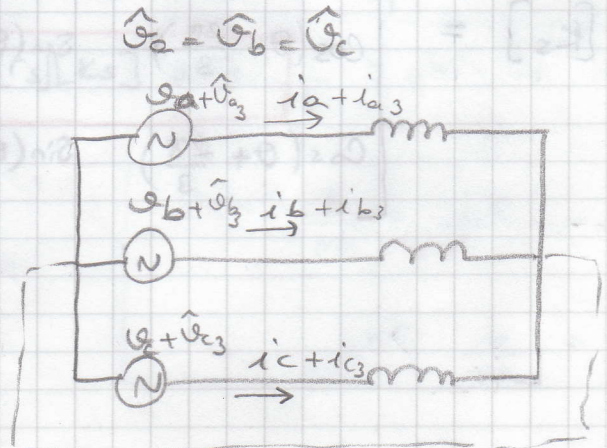
29.04.2010

NOT:

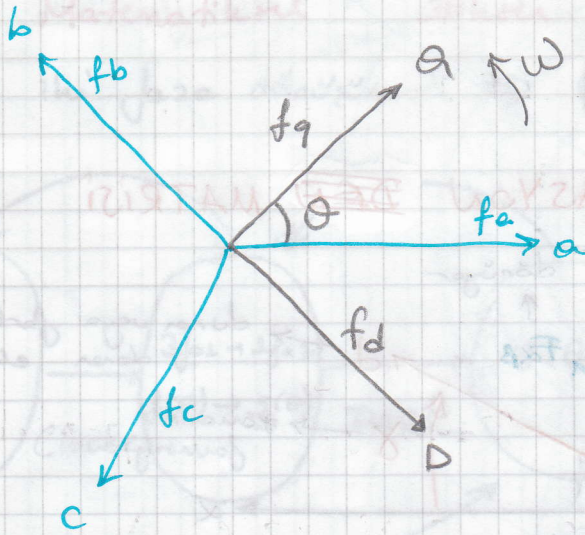
$i_a + i_b + i_c \neq 0$ derseniz
 $i_a + i_b + i_c = 0$ derseniz

Normalde üçgen harmonik bileşenleri (akım) nötr noktası bağlı değilse akmaz. Devrede ise akmaktadır. Ve üçgen bileşen akım harmonikleri birbirlerine eşittir. Üst üste girerler.

i_{a3}, i_{b3}, i_{c3} salınır ←



a fazı	b fazı	c fazı
$0^\circ \times 3$	$120^\circ \times 3$	$240^\circ \times 3$
0°	0°	0°



$$f_{qdo} = K_s f_{abcs} ; f_{abcs} = K_s^{-1} \cdot f_{qdo}$$

$$K_s = \begin{bmatrix} \cos \theta & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ \sin \theta & \sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \sin(\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix}$$

$\frac{2}{3}, \frac{\sqrt{2}}{3}$ konabilir

$$[f_{qdo}]^T = [f_q \cdot f_d \cdot f_o] ; [f_{abcs}]^T = [f_a \cdot f_b \cdot f_c]$$

$\frac{2}{3} \leftarrow$ Efer vektörlerin uzunluğunun dönüşünden sonra aynı kalması isteniyorsa

Dönüşümde önce ve sonraki gücün aynı olması için $\sqrt{\frac{2}{3}}$

$$[K_s]^{-1} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 1 \\ \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) & 1 \\ \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) & \sin(\theta + \frac{2\pi}{3}) & 1 \end{bmatrix}$$

$\theta = \int \omega(\xi) d\xi + \theta(0)$
 $\theta(0)$: $t=0$ anda ilk pozisyon
 $\theta(0) = 0$

ξ : keyfi değişken

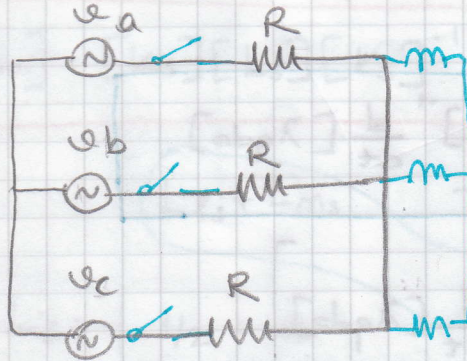
↓
zeta

$$P_{abcs} = V_{as} \cdot i_{as} + V_{bs} \cdot i_{bs} + V_{cs} \cdot i_{cs} \quad (\text{Anlık } p_{\text{ş}})$$

$$P_{qdo} = \frac{3}{2} (V_q \cdot I_q + V_d \cdot I_d + 2V_o I_o) \quad (\text{Anlık } p_{\text{ş}})$$

$$P_{abcs} = P_{qdo}$$

Ödev:



P_{abcs} ve P_{qdo} güçlerini hesapla

$$V_a = \sqrt{2} V_{rms} \sin(\omega t)$$

$$V_b = \sqrt{2} V_{rms} \sin(\omega t - 120^\circ)$$

$$V_c = \sqrt{2} V_{rms} \sin(\omega t + 120^\circ)$$

$$a) \quad V_d \quad I_d$$

$$V_q \quad I_q$$

b) bobin ekleyip
t=0 anda anahtar kapandırtma;

i_a, i_b, i_c

I_d, I_q

Genelleştirilmiş Ekken Dönüşümlerinin Duruşun (Statik) Devreleri

Uyarlanması

Rezistif eleman için

$$V_{abcs} = r_s \cdot i_{abcs}$$

$$[r_s] = \begin{bmatrix} r_s & 0 & 0 \\ 0 & r_s & 0 \\ 0 & 0 & r_s \end{bmatrix}$$

Diagonal matris

$$[K_s]^{-1} \cdot V_{qdo} = r_s [K_s]^{-1} \cdot I_{qdo}$$

$$V_{qdo} = [K_s] \cdot r_s [K_s]^{-1} \cdot I_{qdo}$$

$$[K_s] \cdot [r_s] [K_s]^{-1} = r_s$$

Eğer her fazın
dirençleri aynı değilse
[r_s] yi birim matrise
ayıracağız.
dq sisteminde r_s farklı olur.

İndüktans Elemanı isin

$$v_{abcs} = \frac{d}{dt} \cdot \lambda_{abcs}$$

$$[K_s]^{-1} [V_{qdo}] = \frac{d}{dt} [K_s]^{-1} [\lambda_{qdo}]$$

$$[V_{qdo}] = [K_s] \underbrace{\frac{d}{dt} [K_s]^{-1} [\lambda_{qdo}]}_A$$

$$\frac{d}{dt} [K_s]^{-1} [\lambda_{qdo}] = [\lambda_{qdo}] \frac{d}{dt} [K_s]^{-1} + [K_s]^{-1} \frac{d}{dt} [\lambda_{qdo}]$$

$$[V_{qdo}] = [K_s] \left[[\lambda_{qdo}] \frac{d}{dt} [K_s]^{-1} + [K_s]^{-1} \frac{d}{dt} [\lambda_{qdo}] \right]$$

$$[V_{qdo}] = [K_s] [\lambda_{qdo}] \frac{d}{dt} [K_s]^{-1} + \frac{d}{dt} [\lambda_{qdo}]$$

$$[V_{qdo}] = \omega [\lambda_{qdo}] + \frac{d}{dt} [\lambda_{qdo}]$$

$$[\lambda_{qdo}]^T = [\lambda_{ds} \quad -\lambda_{qs} \quad 0]$$

NOT:

$$\frac{d}{dt} [K_s]^{-1} = \omega$$

$$= \omega \begin{bmatrix} -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ -\sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & 0 \\ -\sin(\theta + \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) & 0 \end{bmatrix}$$

İndüktansın us bapıntısının
dq eksen sistemindeki karşılığı

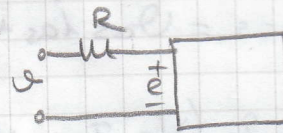


$$[\lambda_{qdo}]^T = [\lambda_q \quad \lambda_d \quad \lambda_o]$$

$$V_q = \omega \lambda_{ds} + \frac{d}{dt} \lambda_{qs}$$

$$V_d = -\omega \lambda_{qs} + \frac{d}{dt} \lambda_{ds}$$

$$V_o = \frac{d}{dt} \lambda_{os}$$



$$e = \frac{d\lambda}{dt} \approx v$$

$$v_R \approx 0$$

Önemli

$$[\lambda_{abc_s}] = [L_s][i_{abc_s}] \quad (\text{Manyetik olarak lineer bir sistemde})$$

$$[K_s]^{-1} [\lambda_{qdo}] = [L_s][K_s]^{-1} [i_{qdo}]$$

$$[\lambda_{qdo}] = \underbrace{[K_s][L_s][K_s]^{-1}}_{L_{qdo}} [i_{qdo}]$$

$$[L_{qdo}] = [K_s][L_s][K_s]^{-1} \quad \star$$

(θ 'den bağımsız)

Her stator hem rotor silindirik



stator self endüktans

$$\begin{bmatrix} L_{11} & L_{12} \\ L_{21} & L_{22} \end{bmatrix}$$

$$L_s = \begin{bmatrix} L_{ls} + L_{ms} & -1/2 L_{ms} & -1/2 L_{ms} \\ -1/2 L_{ms} & L_{ls} + L_{ms} & -1/2 L_{ms} \\ -1/2 L_{ms} & -1/2 L_{ms} & L_{ls} + L_{ms} \end{bmatrix}$$

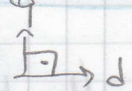
karşık akış endüktans

mikroakış akışı end.

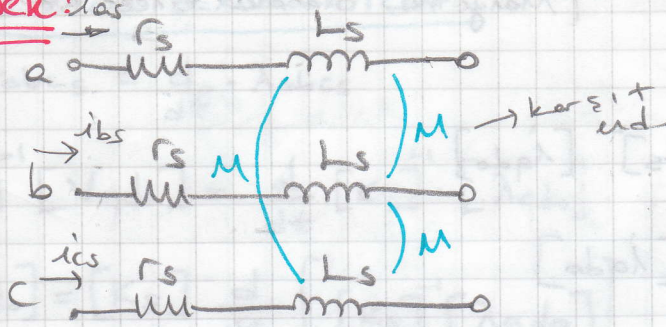
$$L_{qdo} = \begin{bmatrix} L_{ls} + \frac{3}{2} L_{ms} & 0 & 0 \\ 0 & L_{ls} + \frac{3}{2} L_{ms} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_q \\ L_d \\ L_o \end{bmatrix}$$

q ve d ekseninde

karşılıklı etkileşim yok, karşık endüktans = 0



Örnek:



$$L_s = \begin{bmatrix} L_s & M & M \\ M & L_s & M \\ M & M & L_s \end{bmatrix}$$

$$r_s = \begin{bmatrix} r_s & 0 & 0 \\ 0 & r_s & 0 \\ 0 & 0 & r_s \end{bmatrix}$$

ADO elson talimundali denklemler ve eşdeğer devreyi bulunuz.

$$V_{as} = V_{ars} + V_{als}$$

$$V_{qs} = V_{qsr} + V_{qsl}$$

$$V_{ds} = V_{dsr} + V_{dsl}$$

$$V_{os} = V_{osr} + V_{osl}$$

$$V_{qsr} = r_s \cdot i_{qs}$$

$$V_{dsr} = r_s \cdot i_{ds}$$

$$V_{osr} = r_s \cdot i_{os}$$

$$[K_s][L_s][K_s]^{-1} = [L_{qdo}]$$

$$[L_{qdo}] = \begin{bmatrix} L_s - M & 0 & 0 \\ 0 & L_s - M & 0 \\ 0 & 0 & L_s + 2M \end{bmatrix}$$

$$V_{qs} = r_s \cdot i_{qs} + \omega \lambda_{ds} + \frac{d}{dt} \lambda_{qs}$$

$$V_{ds} = r_s \cdot i_{ds} - \omega \lambda_{qs} + \frac{d}{dt} \lambda_{ds}$$

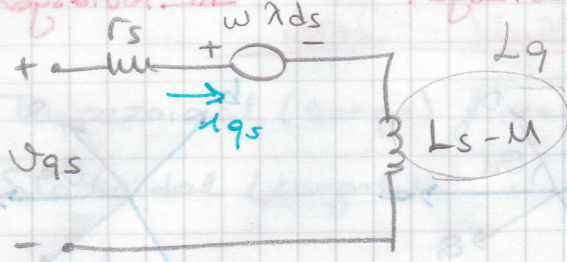
$$V_{os} = r_s \cdot i_{os} + \frac{d}{dt} \lambda_{os}$$

$$\lambda_{qs} = L_q \cdot i_{qs} = (L_s - M) i_{qs}$$

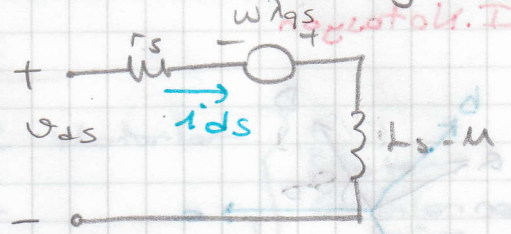
$$\lambda_{ds} = L_d \cdot i_{ds} = (L_s - M) i_{ds}$$

$$\lambda_{os} = L_o \cdot i_{os} = (L_s + 2M) i_{os}$$

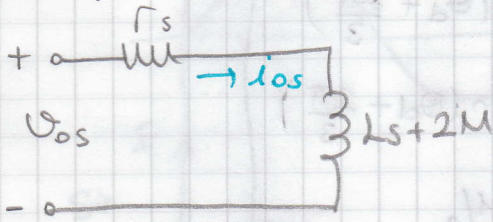
Q Eksen Eşdeğer Devresi
rotor. III



D Eksen Eşdeğer Dev.
rotor. I



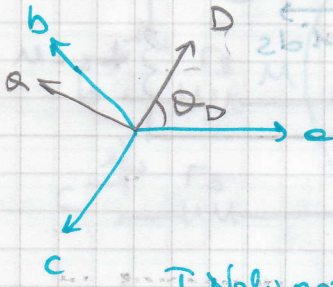
Sıfır Eksen Eşdeğeri



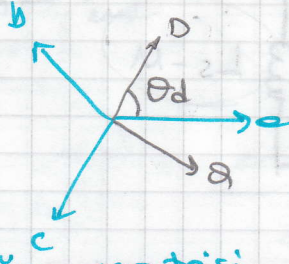
Referans Sistem	Dapışken	Dönüşüm	Yorum	Literatür deli ismi
ω	F_{qdos}	K_s	Rastgell	Rastgell (Keyfi) (Arbitrary)
$\rightarrow 0$	F_{qdos}^s	K_s^s	Durapan	Clarke
$\rightarrow \omega_r$ (rotor Hızı)	F_{qdos}^r	K_s^r	Rotora sabit referans sistemi	Park
$\rightarrow \omega_e$ (Stator Döner Alan Hızı)	F_{qdos}^e	K_s^e	Stator döner alan ile aynı hızda	Senkron Referans Sistemi

Kaynak: P.K. Krause

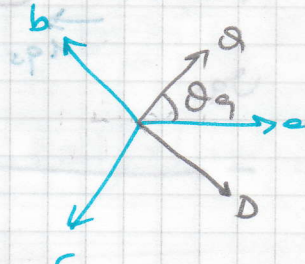
I. Notasyon



II. Notasyon



III. Notasyon



I. Nolu not için dönüşüm matrisi

$$T_{dq0} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos \theta_D & \cos(\theta_D - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta_D + \frac{2\pi}{3}) \\ -\sin \theta_D & -\sin(\theta_D - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta_D + \frac{2\pi}{3}) \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix}$$

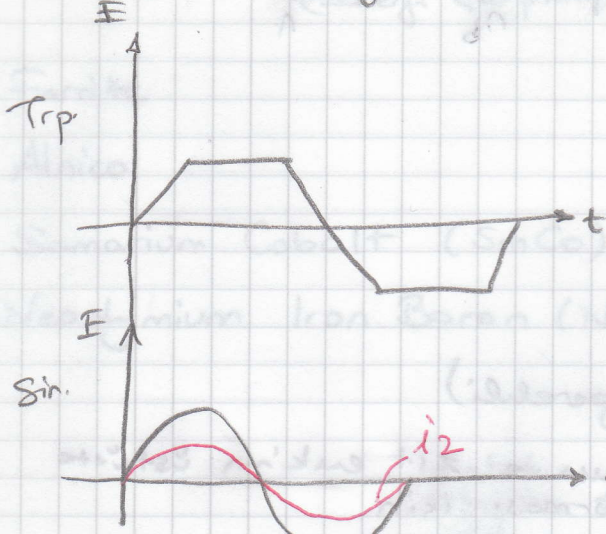
II. Nolu N. için Dönüşüm Matrisi:

$$T_{dq0} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos \theta_D & \cos(\theta_D - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta_D + \frac{2\pi}{3}) \\ \sin \theta_D & \sin(\theta_D - \frac{2\pi}{3}) & \sin(\theta_D + \frac{2\pi}{3}) \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix}$$

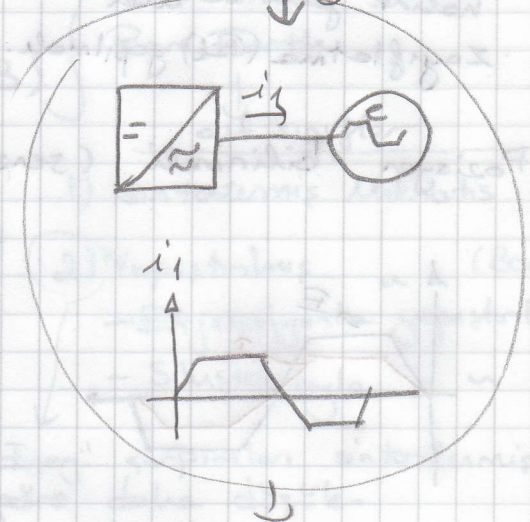
Daimi Manyetikli

Senk. Motorlar

- Trapezoidal (sargı) fırçsız DC motorlar
 - Sinüsoidal (sargılı) " " " " " "
- Stator Sargılarına göre



→ Sargıların dizilişine göre ve kontrol sinyaline göre



Max moment elde etmeli işin

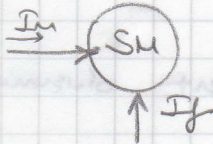
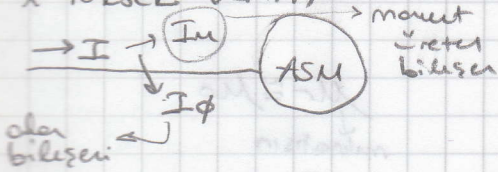


* Servo Motorlar

- Pozisyon kontrolünün yapıldığı motorlar.

Avantaj

* Yüksek verim



* Çok düşük rotor kaybı

* Yüksek moment yapma (Nm/A)

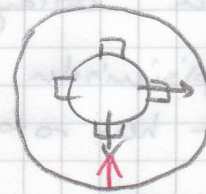
minimum akım basarak max moment elde etmeli

Dezavantaj

* Maliyet

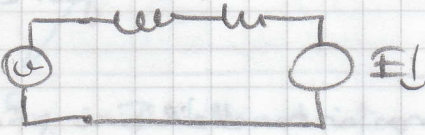
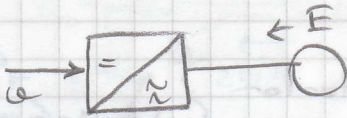
- manyetik

* Akım zayıflama daha zordur.

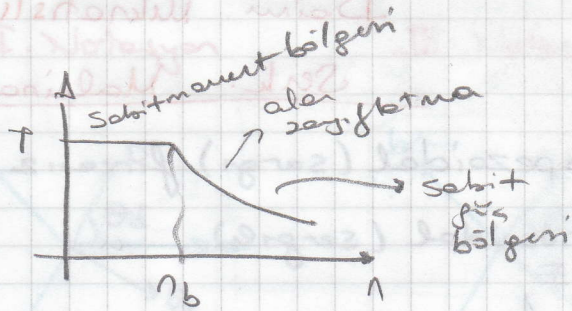


- akım zayıflama asenkronlardan 2-3 kat daha zor
- verim düşüyor.

Aler zayıflatma

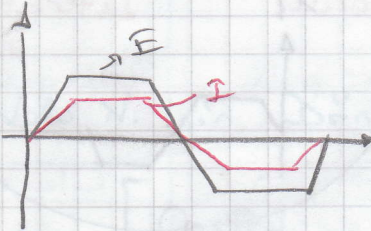


* alar basenaz
haline gelince alar
Zayıflatma (E) yapılmalı.



* Pozisyon bilinmeli (sensör gereklili)

* alar ve zıt etkin üstüste
okuması için



Not:

Stator → konsantre sargılar → sabit güç bölgesi' daha uzun

Rotor Yapısı

* Surface Mounted P.M. Machine → rotor üstüne mıknatıs
yapıştırılmış

* Gömülü mıknatıslı - interior permanent magnet machine

Moment

* $B_r \times B_s$ 1 den dolayı moment oluşmakta

- Reliktans değişiminden dolayı (moment ≈ 0) moment oluşumu yok.
(hem stator hem rotor mükemmel silindirik)

* Gömülü mıknatıslı rotor da ; hem $B_r \times B_s$ etkililiğinden
hem de reliktans değişiminden dolayı moment oluşuyor.
Daha yüksek moment → daha fazla tercih

Direct Drive: doğrudan tahrik alan veya veren makineler

Miknatıslar

$$E = B \times H \quad \begin{array}{l} \text{(Energy product)} \\ \text{(Enerji yoğunluğu)} \end{array}$$

x Ferrite

x Alnico

x Samarium Cobalt (SmCo)

x Neodymium Iron Boron (NdFeB)

Rare Earth

alt sınıflar

imalat
teknikine
göre

Enerji
yoğunluğu
farklı

1) Sinterlenmiş Miknatıs

2) Yapıştırılmış " (Bonded)

- Enjektörlerle yapıştırılmış

- Silüstrinle " "

Enerji yoğunluğu sinterlenmiş
göre daha düşük