



**AKÜ TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**



ÖZEL ELEKTRİK MAKİNALARI DERS-1 YARDIMCI DERS NOTLARI (2020-2021)

İÇERİK:

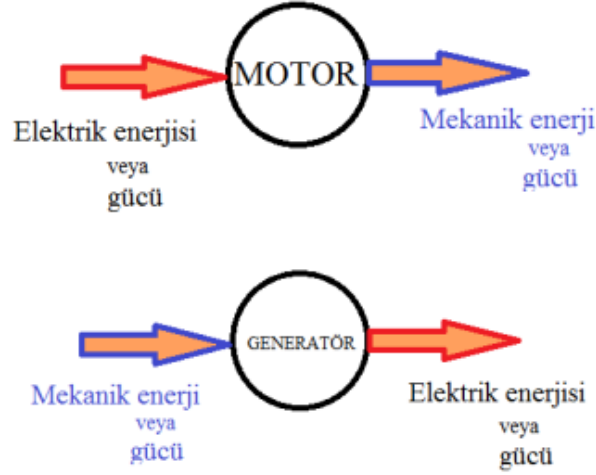
1. Elektrik makineleri (Tanımlar ve tipler)
2. Elektromekanik Enerji Dönüşümü
3. Elektromanyetik Alan kavramı ve bu kavramdan türeyen diğer büyüklükler (Manyetik akı, manyetik akı yoğunluğu vs.)
4. Motor ve Jeneratör Prensipleri

1. ELEKTRİK MAKİNELERİ

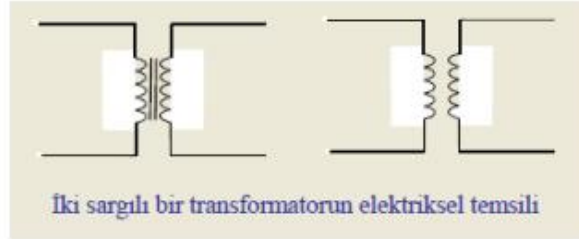
- 1) ELEKTRİK MAKİNELERİ ÇEŞİTLERİ
 - a) DOĞRU AKIM MOTORLARI
 - i) Fırçalı Doğru Akım Motorları
 - ii) Fırçasız Doğru Akım Motorları
 - (1) Servo Motorlar
 - (2) Step (Adım) Motorlar
 - (3) BLDC (Brushless DC) Motorlar
 - b) ALTERNATİF AKIM MOTORLARI
 - i) Senkron Motorlar
 - ii) Asenkron Motorlar
 - (1) 1 fazlı
 - (2) 3 fazlı

TEMEL BİLGİLER

Elektrik Makinaları elektrik enerjisini mekanik enerjiye veya mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren cihazlardır.



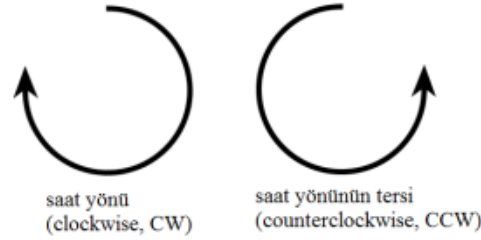
Transformatörler, alternatif akımda gerilim veya akım seviyesini yükseltmek veya düşürmek için kullanılırlar.



Transformatörler, manyetik devre yapısı bakımından motor ve jeneratörlere benzediklerinden bu makineler ile birlikte değerlendirilmektedirler.

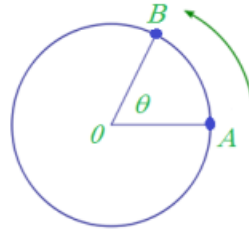
Dairesel Hareket

- Elektrik makinalarının büyük çoğunluğu bir eksen etrafında dönerler.
- Makinanın eksenine mil denir.
- Makinaların mil dönüş yönü saat yönü (CW) veya saat yönünün tersi (CCW) olarak ifade edilir.



Açısal Konum (Pozisyon) θ

Bir nesnenin açısal konumu, nesnenin döndürülme açısıdır ve keyfi bir referans noktasına göre ölçülür. Açısal konum genellikle radyan veya derece olarak ölçülür, θ sembolü ile gösterilir.



Açısal Hız ω

Açısal hız (veya devir sayısı) açısal konumun zamana göre değişim oranıdır. Dönüş yönü saat yönünün aksine doğru ise, hareket pozitif olarak kabul edilmektedir.

	Doğrusal hız $v = \frac{dr}{dt}$ Açısal hız $\omega = \frac{d\theta}{dt}$
--	---

Genel elektrik makinalarında hız terimi çok sık kullanılır. Hız radyan/saniye (rad/s) veya devir/dakika (d/d) olarak verilir. Dairesel hareket yapan bir cismi merkeze bağlayan yarıçap vektörü bir tam devir yaptığında, 2π radyan açı tarar ve bu esnada bir periyot (T) kadar zaman geçer. O hâlde açısal hız;

$$\begin{aligned}\theta &= \omega \cdot t \\ 2\pi &= \omega \cdot T \\ \omega &= \frac{2\pi}{T} \\ \omega &= 2\pi f\end{aligned}$$

Hızla ilgili sembol ve tanımlar:

ω_m açısal hız (radyan/saniye, rad/s) (6,28 rad/s ne demektir?)

f_m açısal hız (devir/saniye, d/s)

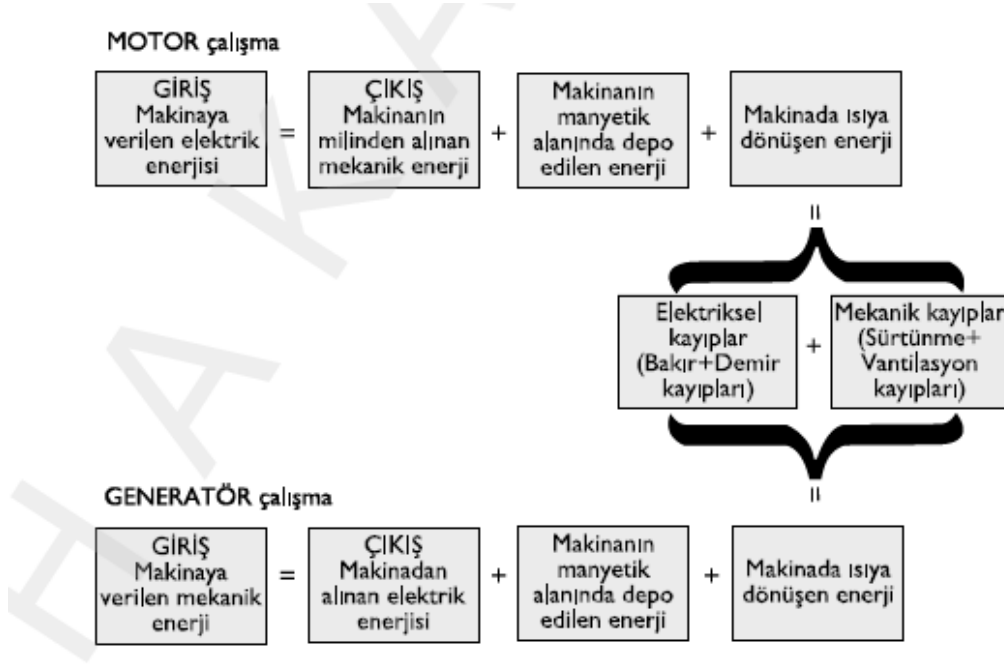
n_m açısal hız (devir/dakika, d/d)

Burada alt indis m mekanik büyüklükleri temsil etmektedir.

Mil (şaft) hızı ve açısal hız arasındaki ilişkiler:

$$n_m = 60 f_m \quad f_m = \frac{\omega_m}{2\pi} \quad \omega_m = n_m \frac{2\pi}{60}$$

ELEKTROMEKANİK ENERJİ DÖNÜŞÜMÜ PRENSİPLERİ



Şekil 2.1: Elektromekanik sistemlerde enerji akış diyagramı.

Elektriksel güç $P_{elk} = VI$

Mekanik güç $P_{mek} = Tw$

T :Momentum (Tork)

w :Açısal hız (rad/s)

$$P_{elk} = P_{mek}$$

ancak ideal şartlarda doğrudur. Gerçek çalışma ortamında mutlaka kayıplardan bahsetmeliyiz.

Bu durumda:

$$VI = Tw + Kayıplar$$

Daha doğru bir yaklaşımdır.

MANYETİK ALAN

Manyetik alan nedir

- Manyetik alan kavramını daha iyi anlayabilmek için bir mıknatısı ele alalım.
- Bir mıknatıs demir gibi manyetik bir malzemeye yaklaştırıldığında, belirli bir mesafeden sonra demir parçasını kendisine doğru çektiği görülür.
- Bu durumda, demir parçasına bir kuvvet etki etmektedir. Bu kuvvet **manyetik alan** olarak tanımlanır. Manyetik alanı göstermek için kullanılan çizgiler **kuvvet çizgisi** veya **akı** olarak tanımlanır.

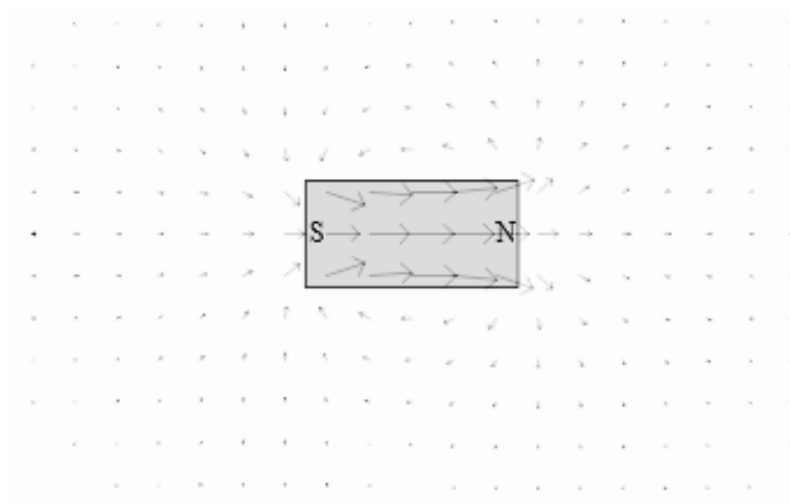
Manyetik alan kısa tarihçesi

- **1770-90** Cavendish ve Coulomb, elektrostatik temellerini kurdu
- **1820** Oersted akan yük ile manyetizma arasında bağlantı kuruyor
- **1820'li** yıllar Ampere, akımları tüm manyetizmanın (hatta daimi mıknatısların) kaynağı olarak tanımlar.
- **1831** Faraday (ayrıca Henry), zamanla değişen manyetik alanların elektrik alanlarının kaynağı olarak işlev gördüğünü keşfeder
- **1864** Maxwell hepsini bir araya getirir

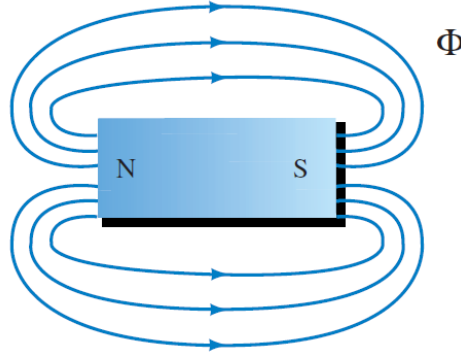
Manyetik alan,

Matematiksel olarak bir vektör alanı olarak tanımlanır.

Bu vektör alanı, doğrudan ızgarada çizilen birçok vektör seti olarak çizilebilir. Her vektör manyetik kuvvetin genliğine bağlı olarak bir uzunluğa sahiptir.



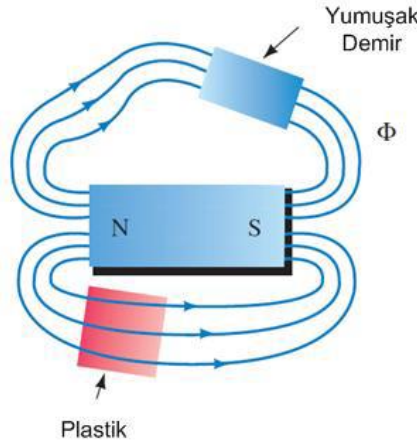
Vektörel gösterim



Manyetik alan kuvvet çizgileri

- Kuvvet çizgileri kapalı bir devre meydana getirecek şekilde ilerlerler.
- Kuvvet çizgileri birbirlerini iterler (birbirlerine paralel ilerler) ve bundan dolayı kesişmezler.
- Kuvvet çizgilerinin yönü dışarıda N kutbundan S kutbuna doğrudur.
- Manyetik kuvvet çizgileri her maddeyi etkilemese de her maddeden geçerler.
- Zıt yöndeki kuvvet çizgileri birbirlerini zayıflatırlar.
- Aynı yöndeki kuvvet çizgileri, manyetik alanı kuvvetlendirir.

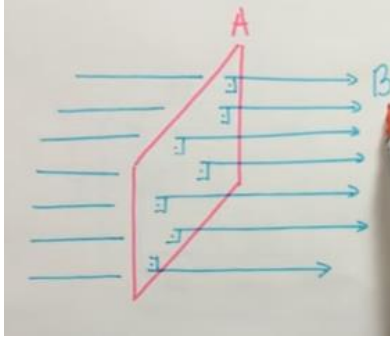
Manyetik alan kuvvet çizgilerinin yolunda demir gibi bir manyetik malzeme varsa, manyetik akı yolunu değiştirir. Plastik gibi manyetik olmayan bir malzeme varsa, yolunu değiştirmez.



Manyetik alan şiddeti H ile gösterilir. Birimi Amper/metre (A/m)'dir.

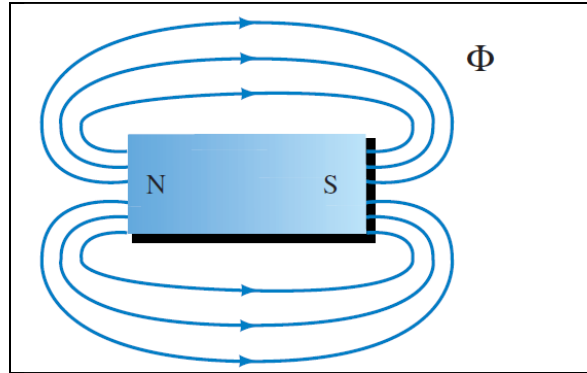
Manyetik Akı

Akı, belirli bir yüzeyden dik olarak geçen manyetik alan çizgisi sayısı demektir.



Bir mıknatısta manyetik alan yönünü gösteren kuvvet çizgileri manyetik akı olarak tanımlanır ve Φ sembolü ile gösterilir, birimi weber'dir.

- Manyetik akı yönü N kutbundan S kutbuna doğru olup kapalı bir devre oluşturur. Bu nedenledir ki elektriksel eşdeğer devreleri çıkartılabilir.
- Manyetik alandaki kuvvet çizgilerinin sayısı manyetik akının değerini verir.

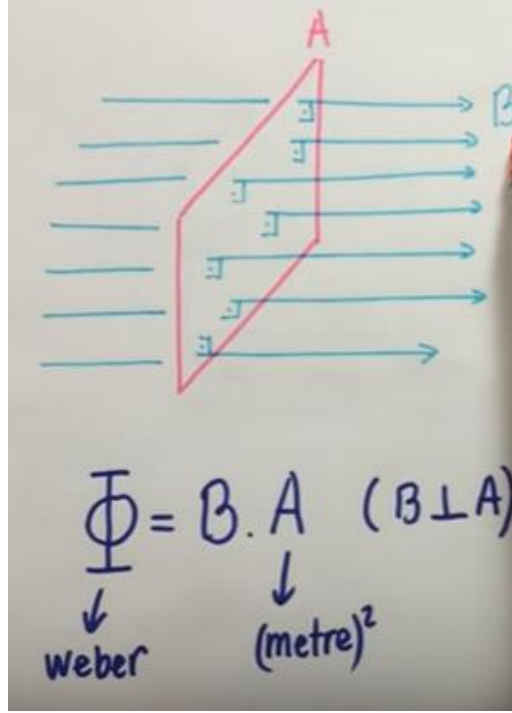


Manyetik Akı Yoğunluğu

Elektrik makinalarında kullanılan önemli bir manyetik büyüklük de manyetik akı yoğunluğudur.

Manyetik akı yoğunluğu manyetik alana dik bir birim alandan geçen akı miktarıdır.

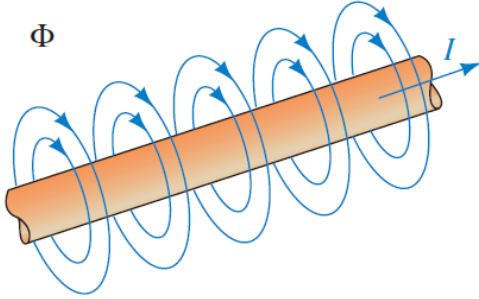
Manyetik akı B harfi ile gösterilir ve birimi Wb/m² veya Tesla'dır (T).



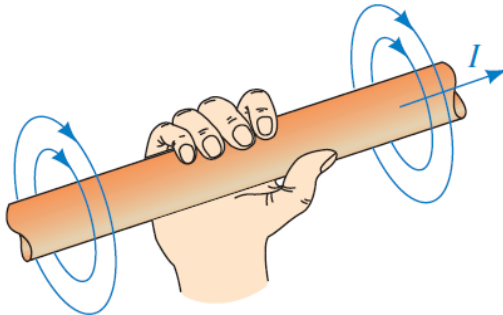
$$\Phi = B \cdot A \text{ (Weber)}$$

Elektromanyetik Alanın Üretilmesi

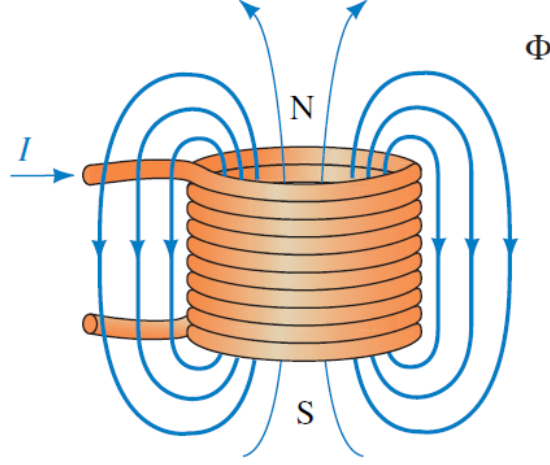
İçinden akım geçen bir iletkenin etrafında bir manyetik alan meydana gelir.



- Oluşan manyetik alanın büyüklüğü geçen akım miktarına bağlıdır ve yönü sağ el kuralı ile bulunur.



- Eğer iletken bir bobin şeklinde sarılırsa, toplam manyetik alan her bir iletkendeki geçen manyetik alanların toplamına eşit olur.



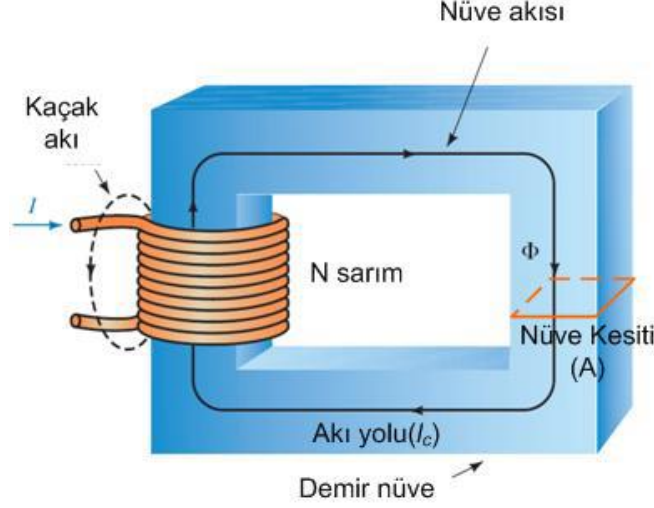
İletken bir manyetik nüve (çekirdek) üzerine sarılır ise, manyetik akı nüve üzerinden devresini tamamlar.

- Bir nüve etrafına sarılı sargıdan geçen akım tarafından manyetik alanın üretilmesini açıklayan temel kanun **Ampere Kanunu'dur**.

Bu kanuna göre integral alanı içinden geçen akım I_{net} , manyetik alan şiddeti ile manyetik alan yolu uzunluğunun çarpımına eşit olur.

$$\oint \mathbf{H} \times d\mathbf{l} = I_{net}$$

Burada $\mathbf{H}$ manyetik alan şiddeti olup $\mathbf{I}_{net}$ akımı tarafından üretilir. SI sisteminde $\mathbf{I}$ amper (A) ve $\mathbf{H}$ amper-tur/metre (At/m) olarak ölçülür. $\mathbf{l}$ manyetik akı yolunun uzunluğudur ve birimi metredir.



Bu denklemin neyi ifade ettiğini daha iyi anlamak için bu denklemi örnek olarak yukarıdaki şekilde verilen manyetik yapıya uygulamak daha yararlı olacaktır.

- Şekilde, dikdörtgen nüvenin bir kolu üzerine sarılı N sarımlı bir sargı bulunan manyetik yapı gösterilmektedir.
- Çekirdek (nüve); demir veya ferromanyetik malzemeler olarak bilinen belirli diğer metallerin alaşımından yapılmış ise, akım tarafından üretilen bütün manyetik alanın nüve içerisinde kaldığı varsayılacaktır.
- Böylelikle, Ampere Kanunu'ndaki integralin yolu, nüvenin ortalama yol uzunluğu l_c olacaktır. Akım taşıyan sargı telleri integralin yolunu N defa keserler.
- Böylece integral alanı içinden geçen akım I_{net} , manyetik alan şiddeti ile manyetik alan yolu uzunluğunun çarpımına eşit olur.

Bu kesikli çizgileri Amper kanunu için kapalı intgrasyon yolu olarak kabul edersek, bu yol, sargının N sarımlı olması sebebiyle N tane I akımını içerisine almaktadır.

- Bu tanımlamalardan sonra “Ampere” kanunu:

$$H l_c = N i$$

Burada H , manyetik alan şiddeti vektörünün genliği, l_c nüvenin ortalama yol uzunluğudur. Uygulanan akım yüzünden nüve içinde üretilen manyetik alan şiddetinin genliği:

$$H = \frac{N i}{l_c}$$

MANYETİK ALAN İÇERSİNDEKİ BİR İLETKENDE ENDÜKLENEN GERİLİM

Elektromanyetik Endüksiyon Yolu ile Gerilim Endüklenmesi

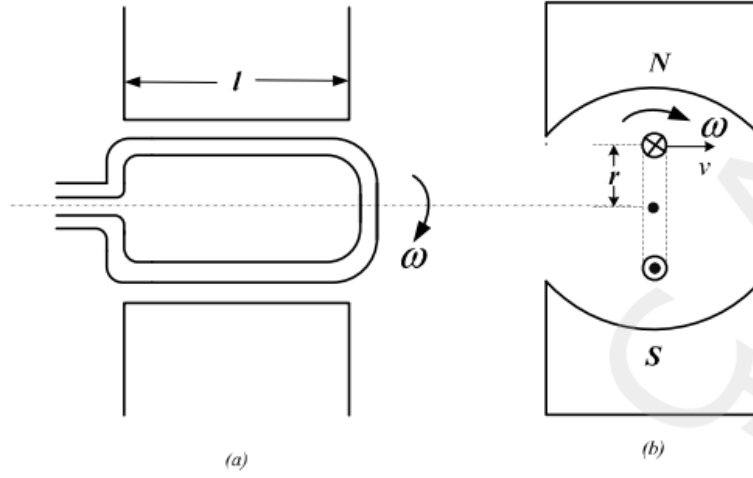
Hareketsiz duran bir iletken zamanla değişen bir manyetik alana maruz kalırsa, Faraday kanununa göre bu iletkende bir gerilim endüklenir. Endüklenen gerilim endüksiyon gerilimi olarak tanımlanır ve aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$e_i(t) = -\frac{d\phi}{dt}$$

Hareket Yolu ile Gerilim Endüklenmesi

İletkenin içinde bulunduğu manyetik alan zamanla değişmiyorsa (doğru akım makinalarında olduğu gibi) gerilim endüklenmesi için iletkenin veya alanın hareketli olması gerekir. Bu yolla endüklenen gerilim hareket gerilimi olarak isimlendirilir.

JENERATÖR PRENSİBİ



Düzgün manyetik alan içerisinde hareketi bobin. (a) Yandan görünüş, (b) Önden görünüş.

Bir iletkende endüklenen gerilimin değeri aşağıdaki yazılır:

$$e_i = \vec{l} \cdot (\vec{v} \times \vec{B}) \quad (2.21)$$

Burada l iletkenin boyunu, v çizgisel hızını, B içinde bulunduğu manyetik akı yoğunluğu değerini göstermektedir. İletkende endüklenen gerilim sonucu oluşacak akımın yönü bu kez sol el kuralı ile bulunur. Sol elimizi Şekil 2.5'deki gibi açarız ve aynı büyüklükleri sol elimiz üzerinde işaretleriz. Şekil 2.8'e bu kuralı uygularsak, avuç içi aşağıya (S kutbunu gösterecek şekilde) bacak biçimde başparmağımız hareket yönünü gösterirse, bitişik dört parmağımız sayfa düzlemine doğru olur. Üstteki iletkende akım yönü sayfa düzlemine doğrudur. Alttaki iletken için akım yönü değişir ve sayfa düzleminden bize doğru olur. Motor çalışmada tanımladığımız gibi iletkenin v hız vektörü ile B akı çizgileri bütün kutup bölgesinde birbirine dik ise, (2.21) eşitliğini aşağıdaki gibi yazabiliriz.

$$e_i = Blv \quad (2.22)$$

Bobini N sarımlı olarak kabul edip, bobin uçlarından alacağımız gerilimi aşağıdaki gibi elde ederiz.

$$e_b = 2NBlv \quad (2.23)$$

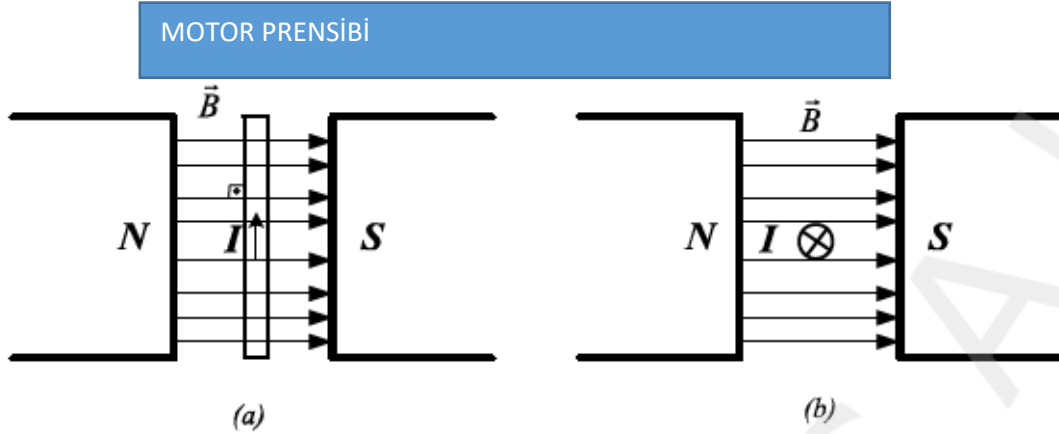
v çizgisel hızını açısal hız cinsinden yazarsak, bir bobinde endüklenen hareket geriliminin eşitliğini aşağıdaki gibi düzenleyebiliriz.

$$e_b = 2NBl\omega r \quad (2.24)$$

Eşitlik 2.24 elektromekanik enerji dönüşümü yapan döner elektrik makinalarının temel eşitliğidir. Yine burada da B yerine kutup başına akı miktarı alınarak eşitlik, makine konstrüksiyon bilgilerini içerecek şekilde düzenlenir.

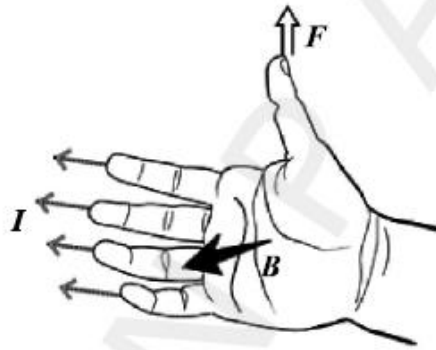
3. MANYETİK ALAN İÇERİSİNDE AKIM TAŞIYAN İLETKENE ETKİYEN KUVVET

Şekil 2.4’de görüldüğü gibi, sabit genlikli ve yönü değişmeyen bir manyetik alan içersine, I akımı taşıyan bir iletken yerleştirilim. İletkenin konumuna göre, manyetik alana ait kuvvet çizgileri iletkene her noktada dik olarak etki etsin.



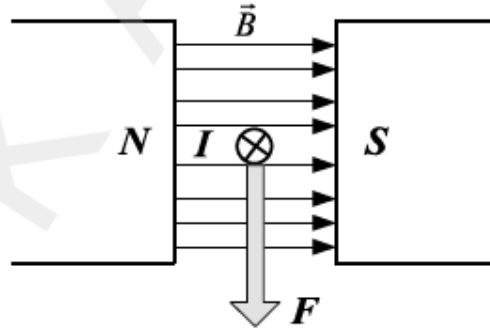
Şekil 2.4: Düzgün manyetik alan içerisinde akım taşıyan iletken. (a) Üstten görünüş, (b) Önden görünüş.

Bu iletkene etkiyen kuvvetin yönü sağ el kuralı ile bulunabilir. Sağ elimizi Şekil 2.5’de görüldüğü gibi açtığımızda, birleşik duran dört parmağımız iletkendeki akım yönünü, avuç içimiz alan yönünü (avuç içi S kutbuna bakacak şekilde) gösterirse, başparmağımız iletkene etkiyen kuvvetin yönünü gösterir.



Şekil 2.5: İletkene etkiyen kuvvet yönünün bulunması için sağ el kuralı.

Sağ elimizi Şekil 2.4(b)’de gördüğümüz açıdan tutarsak başparmağımızın aşağıya doğru yön gösterdiğini görürüz. İletkene etkiyen kuvvet ve yönü Şekil 2.6’da gösterilmiştir.



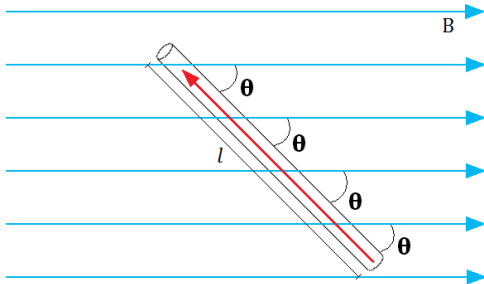
Şekil 2.6: Manyetik alan içerisinde / akımı taşıyan iletkene etkiyen kuvvetin yönü.

Bu kuvvetin değeri (2.32) eşitliği ile hesaplanır.

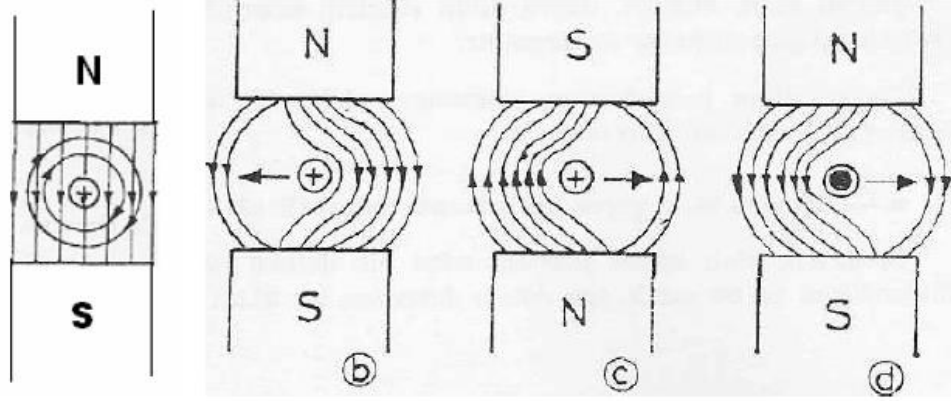
$$\vec{F} = I(\vec{l} \times \vec{B}) \quad (N) \quad (2.16)$$

(2.16) eşitliğindeki $\vec{l}$ iletkenin doğrultu vektörüdür. $\vec{B}$ ise manyetik akı yoğunluğu vektörüdür ve akı çizgilerinin doğrultusunu göstermektedir. Şekillerden görüleceği gibi bu iki vektör birbirine diktir. (2.16) eşitliğindeki çarpım için açığı 90° aldığımızda, iletkene etkiyen kuvvet için aşağıdaki eşitliği elde ederiz ($\sin 90^\circ=1$). Kuvvet birimimiz N harfi ile göstereceğimiz Newton'dur.

$$F = BIl \sin(\theta) = BIl \quad (N) \quad (2.17)$$



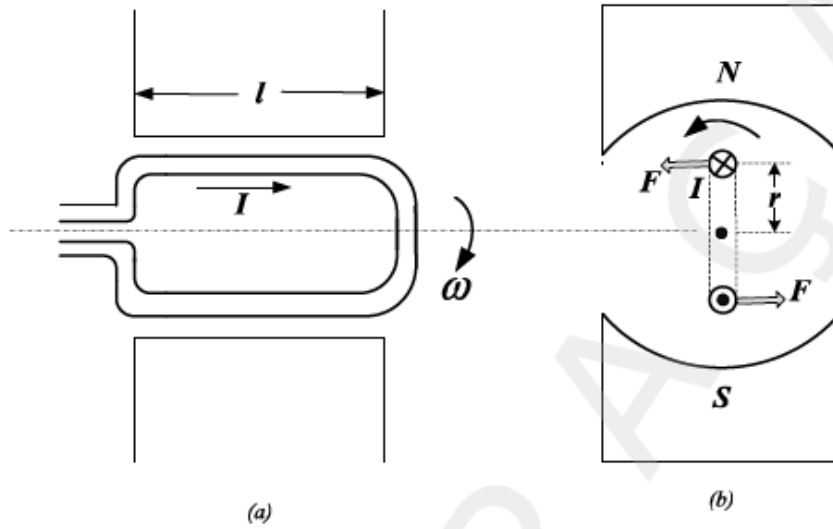
Aşağıdaki ilk şekilde (a) iletkenin sol tarafında zıt gelen manyetik alanlar birbirlerini zayıflatırken sağ tarafında manyetik alan kuvvetlenmekte ve iletken alanı zayıflayan sol tarafa doğru itilmektedir.



Bir manyetik alan içersine düz bir tel değil bobin şeklinde kıvrılmış tel yerleştirelim.

(2.17) elektrik makinalarının motor çalışmadaki temel eşitliğidir. Yine bu ifadeden görüleceği üzere iletkeni etkileyen kuvvet, iletkenin akı çizgileri ile yaptığı açının sinüs değeri ile orantılıdır.

Verdiğimiz ifadeler bir iletkeni etkileyen kuvvet değeridir. Şimdi manyetik alan içersine bir akım çevrimi (bobin) yerleştirelim (Şekil 2.7).

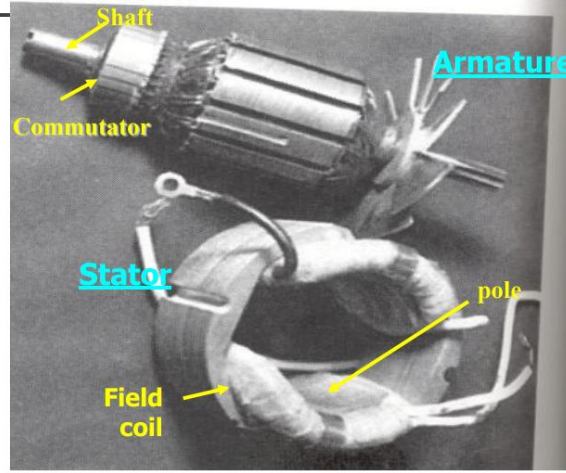


Şekil 2.7: Manyetik alan içersinde I akımı taşıyan bobin ve kenarlarına etkiyen kuvvetlerin yönü. (a) Yandan görünüş, (b) Önden görünüş.

Bobinin kenarlarındaki akımların yönüne göre sağ el kuralı ile kuvvetlerin yönleri bulunduğunda, bobinin bir çifti oluşturacağı görülmektedir. Kutup ayaklarının yapısına dikkat edildiğinde, bobin kenarları kutup bölgesi altında kuvvet çizgileri ile daima dik konumda bulunacaktır (yani $\theta=90^\circ$). Buna göre bir kenara etkiyen kuvvet (2.17) ile hesaplanır. Bobin şekilde gösterilen eksen etrafında saat dönüş yönünün tersine ω açısal hızı ile dönecektir. Bir kenara etkiyen moment aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$T_k = Fr = BIlr \quad (\text{Nm}) \quad (2.18)$$

2 Pole DC Machine



Bobine etkiyen toplam moment, bir kenara etkiyen momentin iki katına eşit olur. Bobinin N sarımdan oluştuğu da göz önüne alınırsa aşağıdaki eşitlik yazılır. Moment birimi Newton-metre'dir.

$$T = 2BNIlr \quad (\text{Nm}) \quad (2.19)$$

Burada r bobinin yarıçapıdır. Gerçek makinalarda bu değer endüvi veya rotor yarıçapı, l iletken uzunluğu ise makinanın aktif uzunluğudur. Yine gerçek makinalarda moment hesabı yapılırken, B akı yoğunluğu değeri yerine kutup başına elde edilen ortalama akı değeri kullanılır. Akı değeri hesaplanırken, çalışılan makinaya ait konstrüksiyon değerleri göz önüne alınmış olacaktır. Sonuç olarak (2.19) eşitliği bütün elektromekanik enerji dönüşümü yapan döner elektrik makinaları için temel eşitliktir. Moment eşitliklerindeki farklılıklar, makinanın konstrüksiyon yapısından gelen katsayılarla ortaya çıkar.

KAYNAKLAR:

1. ÇANAKOĞLU A.İ., ÜNSAL A., TUNABOYLU N.S. (2012). Elektrik Makinaları, Anadolu Üniversitesi Yayınları, Yayın No:2619, ISBN: 978-975-06-2568-8