

ELK-301

ELEKTRİK MAKİNALARI-1

KAYNAKLAR

1. Prof. Dr. Güngör BAL, “**Elektrik Makinaları I**”, Seçkin Yayınevi, Ankara 2016
2. Stephen J. Chapman, “**Elektrik Makinalarının Temelleri**”, Çağlayan Kitabevi, 2007,
Çeviren: Prof. Dr. Erhan AKIN, Yrd. Doç. Dr. Ahmet ORHAN

Prof. Dr. Güngör BAL

Bölüm 1: Makina İlkelerine Giriş

1.2 Manyetik Alan

- Manyetik alanlar, elektrik makinalarında enerji dönüşümünü sağlayan temel mekanizmadır.
- Manyetik alanların elektrik makinalarında kullanılması dört ana prensip ile açıklanır:
 1. Akım taşıyan bir tel etrafında bir manyetik alan üretilir.
 2. Zamanla değişen bir manyetik alan eğer bir sargıyı keserse, sargıda bir gerilim endüklenir. Bu olay *transformator* prensibini açıklar.
 3. Akım taşıyan bir iletken manyetik alan içinde bulunursa, iletkende bir kuvvet üretilir. Bu olay *motor* prensibini açıklar.
 4. Manyetik alan içindeki bir iletken hareket ederse, üzerinde bir gerilim endüklenir. Bu olay *generatör* prensibini açıklar.

Bölüm 1: Makina İlkelerine Giriş

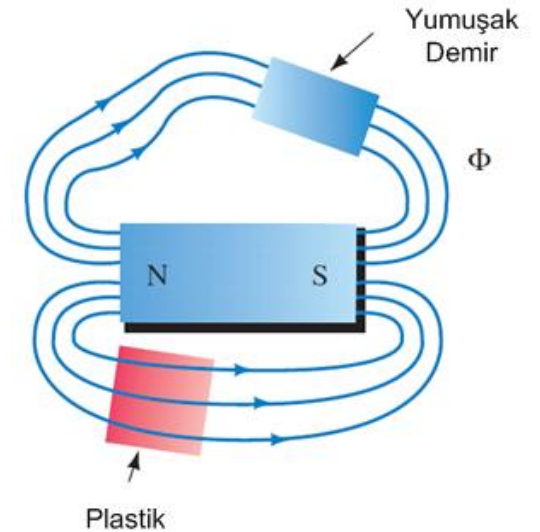
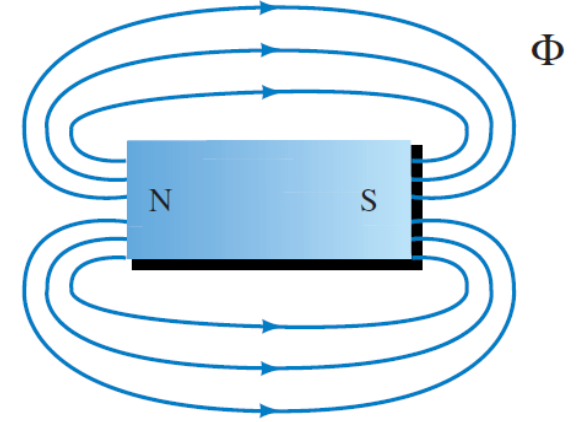
1.2 Manyetik Alan

- 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.

Bölüm 1: Makina İlkelerine Giriş

1.2.1 Manyetik Akı

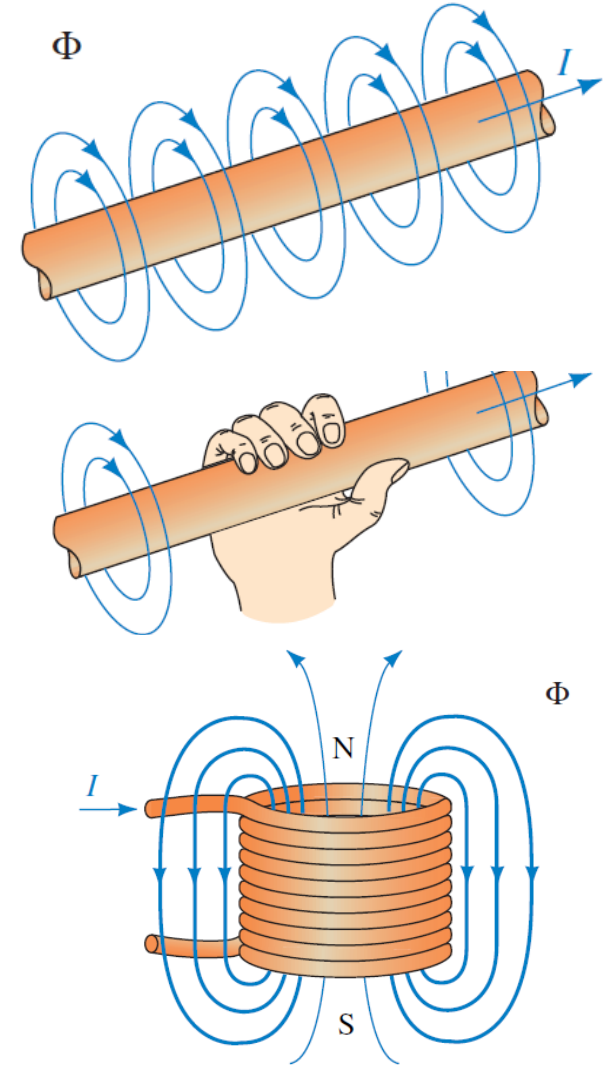
- Bir mıknatısta manyetik alan yönünü gösteren **kuvvet çizgileri manyetik akı** olarak tanımlanır ve **F** sembolü ile gösterilir, birimi **weber** dir.
- Manyetik akı yönü N kutbundan S kutbuna doğru olup kapalı bir devre oluşturur.
- Manyetik alandaki kuvvet çizgilerinin sayısı manyetik akının değerini verir.
- Manyetik akı yolunda demir gibi bir manyetik malzeme varsa, manyetik akı yolunu değiştirir. Plastik gibi manyetik olmayan bir malzeme varsa, yolunu değiştirmez.



Bölüm 1: Makina İlkelerine Giriş

1.2.2 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 iletkenden geçen manyetik alanların toplamına eşit olur.



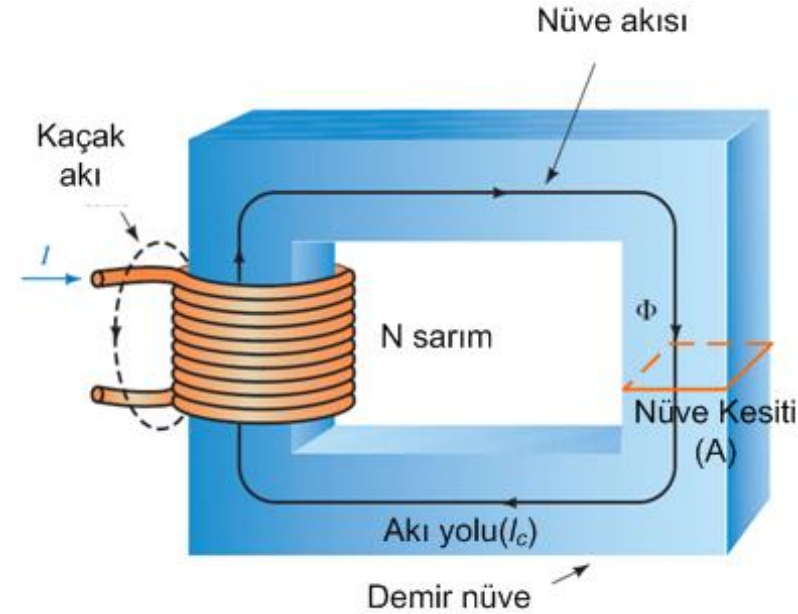
Bölüm 1: Makina İlkelerine Giriş

1.2.2 Elektromanyetik Alanın Üretilmesi

- 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.

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

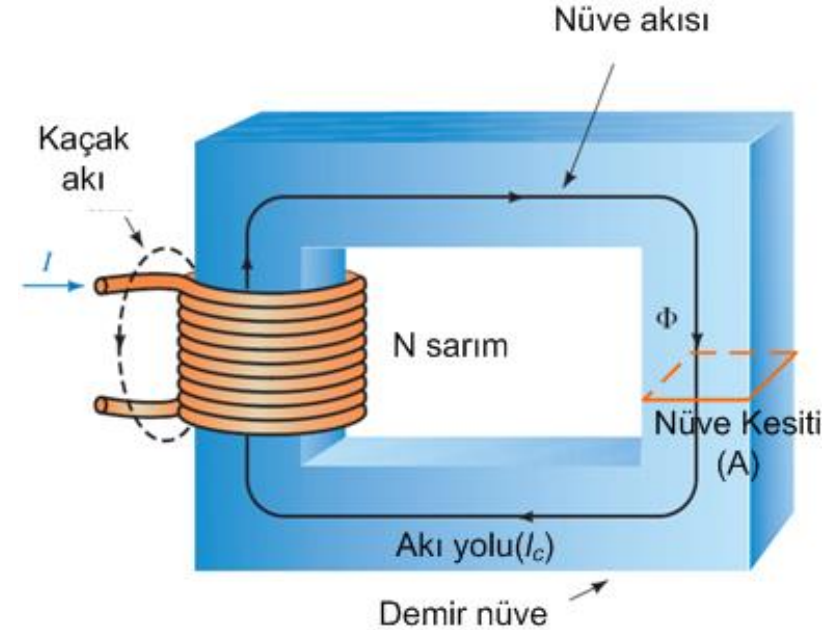
Burada $\mathbf{H}$ manyetik alan şiddeti olup I_{net} akımı tarafından üretilir. SI sisteminde I amper (A) ve $\mathbf{H}$ amper-tur/metre (At/m) olarak ölçülür. $\mathbf{l}$ manyetik akı yolunun uzunluğudur ve birimi metredir.



Bölüm 1: Makina İlkelerine Giriş

1.2.2 Elektromanyetik Alanın Üretilmesi

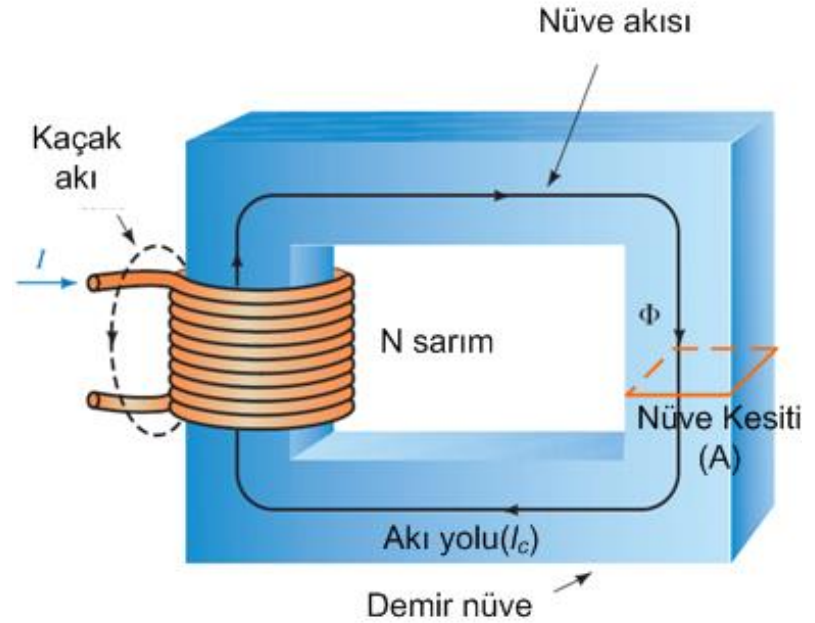
- Bu denklemin neyi ifade ettiğini daha iyi anlamak için bu denklemi örnek olarak yandaki şekilde verilen manyetik yapıya uygulamak daha yararlı olacaktır.
- Şekilde, dikdörtgen nüvenin bir kolu üzerine sarılı N sarımlı bir sargı bulunan manyetik yapı gösterilmektedir.



Bölüm 1: Makina İlkelerine Giriş

1.2.2 Elektromanyetik Alanın Üretilmesi

- 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.



Bölüm 1: Makina İlkelerine Giriş

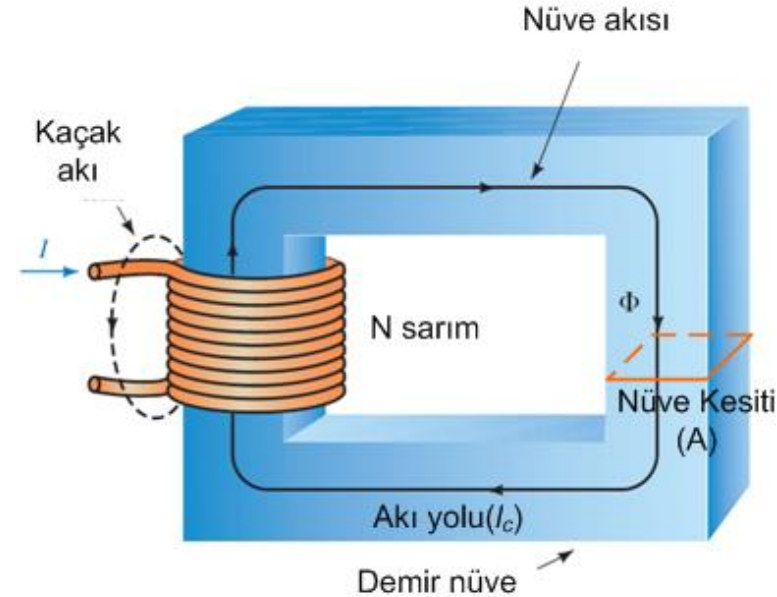
1.2.2 Elektromanyetik Alanın Üretilmesi

- Böylece integral alanı içinden geçen akım I_{net} , manyetik alan şiddeti ile manyetik alan yolu uzunluğunun çarpımına eşit olur.
- 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:

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



Bölüm 1: Makina İlkelerine Giriş

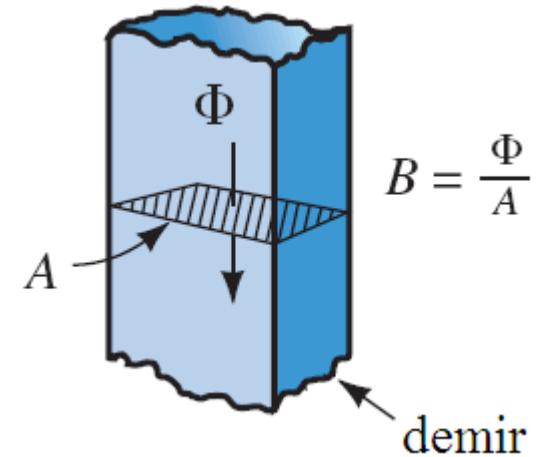
1.2.3 Manyetik Akı Yoğunluğu

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/m^2 veya Tesla'dır (T).

$$B = \frac{\Phi}{A} \quad (\text{tesla, T})$$



Bölüm 1: Makina İlkelerine Giriş

1.2.4 Manyetik alan şiddeti ile manyetik akı yoğunluğu arasındaki ilişki

- Manyetik alan şiddeti **H** , bir anlamda akımın manyetik alanı meydana getirmek için gösterdiği çabanın bir ölçüsüdür.
- Manyetik alan şiddeti **H** ve bir malzemedeki üretilen manyetik akı yoğunluğu **B** arasındaki ilişki:

$$B = \mu H$$

Burada;

μ malzemenin manyetik geçirgenliği (H/m)

B manyetik akı yoğunluğu (Wb/m²)

Bölüm 1: Makina İlkelerine Giriş

Manyetik geçirgenlik

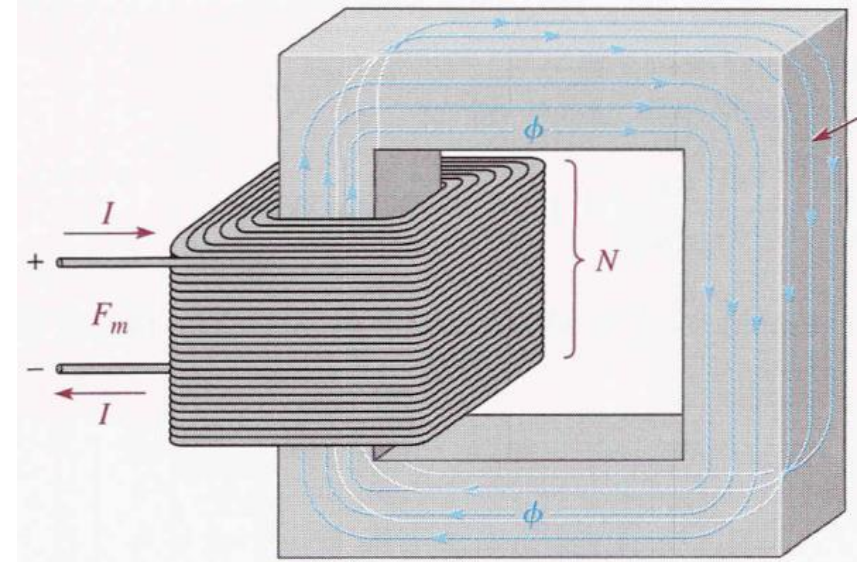
- Manyetik geçirgenlik (μ), malzeme içerisinde manyetik alanın geçişini tanımlayan bir parametredir. Her malzeme bir manyetik geçirgenliğe sahiptir.
- Manyetik geçirgenliği yüksek olan malzemelerde daha kolay manyetik alan oluşur.
- Boşluğun manyetik geçirgenliği μ_0 ile temsil edilir ve değeri sabittir, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$.
- Herhangi bir malzemenin geçirgenliği ile havanın geçirgenliğinin oranlanması bağıl geçirgenliği μ_r verir.

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

Bölüm 1: Makina İlkelerine Giriş

Manyetik geçirgenlik

- Bağlı geçirgenliğin yüksek olması malzemenin manyetik özelliğinin yüksek olduğu anlamına gelir.
- Örneğin elektrik makinalarında kullanılan çeliğin bağlı manyetik geçirgenlikleri 2000-6000 arasındadır. Bu nedenle elektrik makinalarında manyetik akı, hava yerine 2000-6000 kat daha geçirgen olan çelik üzerinden geçmektedir.
- Şekilde verilen manyetik devreden görüldüğü gibi manyetik akı hava (boşluk) yerine daha geçirgen olan nüve üzerinden akmaktadır.
- Bu devrede kaçak akılar bulunmakla birlikte toplam akıya oranla çok küçüktür.



Bölüm 1: Makina İlkelerine Giriş

Manyetik akı yoğunluğu ve manyetik akı

- Bir nüvedeki akı yoğunluğunun genliği:

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

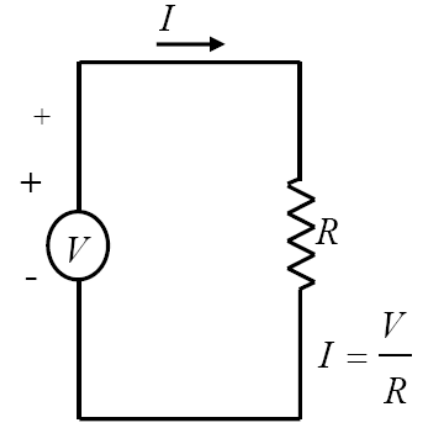
- Toplam manyetik akının değeri:

$$\phi = B A = \frac{\mu N i A}{l_c}$$

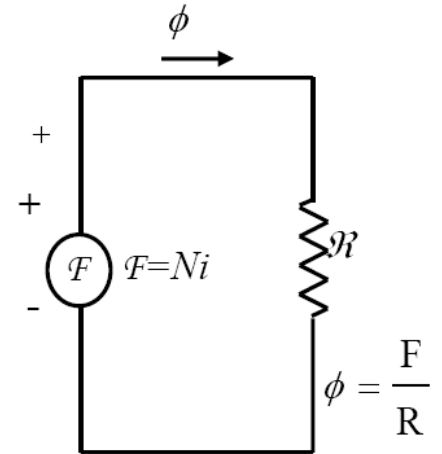
Bölüm 1: Makina İlkelerine Giriş

1.3 Manyetik Devreler

- Bir elektromanyetik devrede manyetik akı, nüveye sarılı sargıdan geçen akım tarafından üretilir. Bu olay elektrik devresinde gerilimin devreden akım geçirmesine benzerdir.
- Basit bir elektrik devresinde gerilim $V = I R$ ifadesi ile tanımlanır. Elektrik devresinde gerilim veya elektromotor kuvvet (emk) akımın akmasını sağlar. Direnç ise devre akımını sınırlar.
- Manyetik devrede ise gerilimin yerini manyetomotor kuvvet (mmk) alır. Bir sargıdan geçen akım, mmk (F) değerini belirler. $F = N i (At)$
- Manyetik devrede, uygulanan mmk devrede bir akı (ϕ) üretilmesini sağlar.



(a) Elektrik devresi



(b) Manyetik devresi

Bölüm 1: Makina İlkelerine Giriş

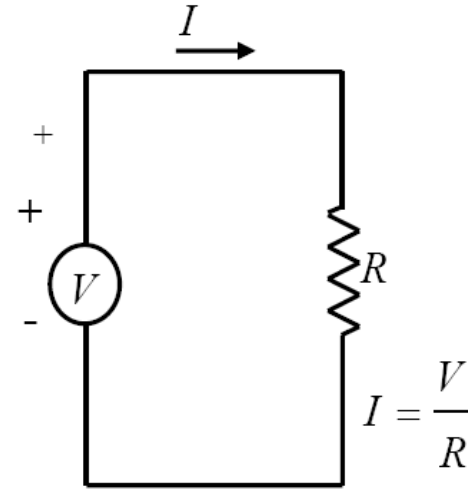
Manyetik Devreler

- mmk ile akı arasındaki ilişki:

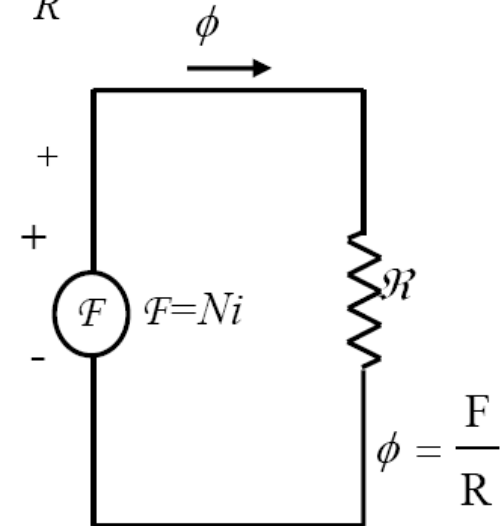
$$\Phi = \mathcal{F} / \mathcal{R} \quad (\text{Wb})$$

Burada $\mathcal{R}$ relüktansı temsil eder ve birimi At/Wb dir.

- Relüktans akıyı sınırlar.
- Elektrik devresindeki gerilim kaynağına benzer olarak manyetik devrede mmk 'in de bir polaritesi vardır. mmk kaynağının pozitif ucu manyetik akının çıktığı uçtur, negatif ucu ise manyetik akının tekrar kaynağa girdiği uçtur.



(a) Elektrik devresi

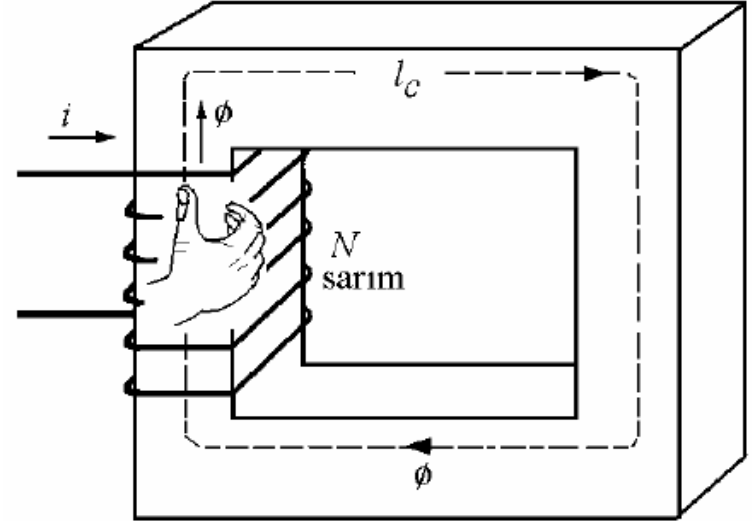


(b) Manyetik devresi

Bölüm 1: Makina İlkelerine Giriş

Relüktans

- mmk'in yönü **sağ el kuralının** bir sargıya uyarlanmış şeklinden elde edilebilir. Şekildeki manyetik yapıda sağ el parmakları sargıdan geçen akım yönünde sargıyı kavrar ise, parmaklara dik tutulan başparmak akının ve dolayısıyla **mmk'in yönünü** gösterir.



- **Relüktans** (manyetik drenç) bir elektrik devresindeki dirence karşılık gelirken, elektrik devresindeki iletkenliğin manyetik devredeki karşılığı da **permeans** olarak ifade edilir.

$$\mathcal{P} = 1/\mathcal{R} \quad \text{ve} \quad \Phi = \mathcal{F}\mathcal{P}$$

Bölüm 1: Makina İlkelerine Giriş

Relüktans

- Bir manyetik devrede relüktansı bulmak için önce nüve içindeki akı denkleminden yararlanılır.

$$\phi = N i \frac{\mu A}{l_c}$$

$$\phi = \mathfrak{S} \frac{\mu A}{l_c}$$

$$\mathfrak{R} = \frac{l_c}{\mu A}$$

- Manyetik devrenin relüktansı:
- Manyetik devredeki relüktanslar için de elektrik devresindeki dirençlere uygulanan kurallar geçerlidir.

Seri manyetik devrenin eşdeğer relüktansı:

$$\mathcal{R}_{eq} = \mathcal{R}_1 + \mathcal{R}_2 + \mathcal{R}_3 + \dots$$

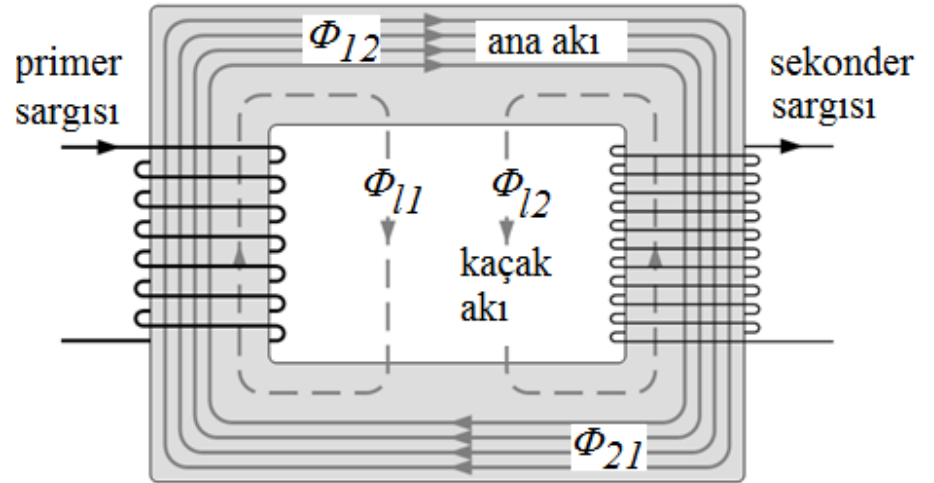
Paralel manyetik devrenin eşdeğer relüktansı:

$$1/\mathcal{R}_{eq} = 1/\mathcal{R}_1 + 1/\mathcal{R}_2 + 1/\mathcal{R}_3 + \dots$$

Bölüm 1: Makina İlkelerine Giriş

Gerçek manyetik devre-Varsayımlar

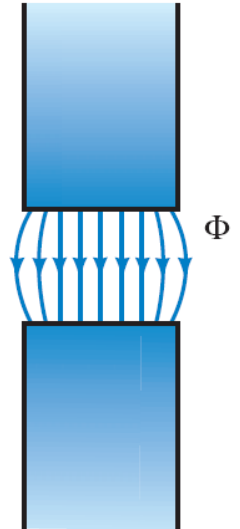
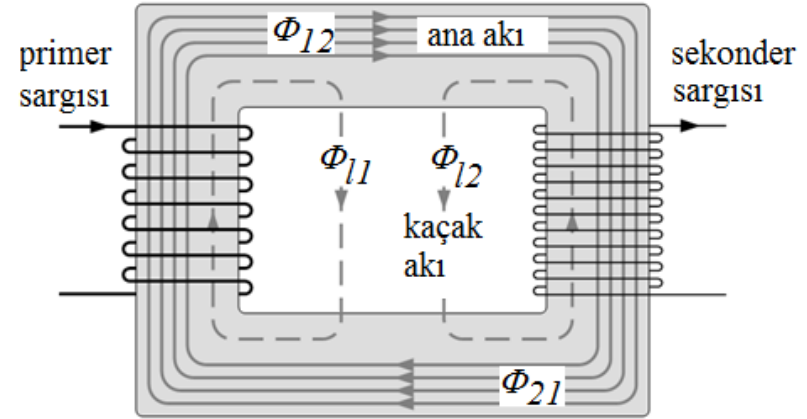
- Bir nüvede manyetik akının hesaplanması için kabuller yapılır ve bulunan değerler yaklaşık değerler olup yaklaşık %5 hata ile sonuçlar elde edilir. Hesap sonucunun hassasiyetini etkileyen tabi nedenler vardır.
- Bunlar:
 - kaçak akı
 - akının dengesiz dağılımı
 - geçirgenliğin değişmesi
 - saçak etkisi



Bölüm 1: Makina İlkelerine Giriş

Gerçek manyetik devre-Varsayımlar

- **1.** Manyetik devrede bütün akının bir manyetik nüve içinde tutulduğu varsayılır. Bu kabul çok gerçekçi değildir. Akının bir kısmı havadan devresini tamamlar. Bu akıya **kaçak akı** denir.
- **2.** Relüktansın hesaplanmasında **akının** nüvenin her yerine **dengeli dağıldığı** kabul edilir. Nüve köşelerinde bu varsayım çok doğru değildir.
- **3.** Ferromanyetik malzemelerde geçirgenlik malzeme içindeki akının artması ile değişir. Sabit kabul edilen **relüktans** değeri hesaplamanın sonucuna etki eder.
- **4.** Nüve içinde hava aralıkları var ise hava aralığının etkin kesit alan değeri, nüve kesit alanının her iki tarafından taşarak nüvenin kesit alanından daha geniş olacaktır. Hava aralığı kesit alanındaki bu fazlalık, hava aralığındaki manyetik alanın **saçak etkisi** tarafından meydana getirilir.

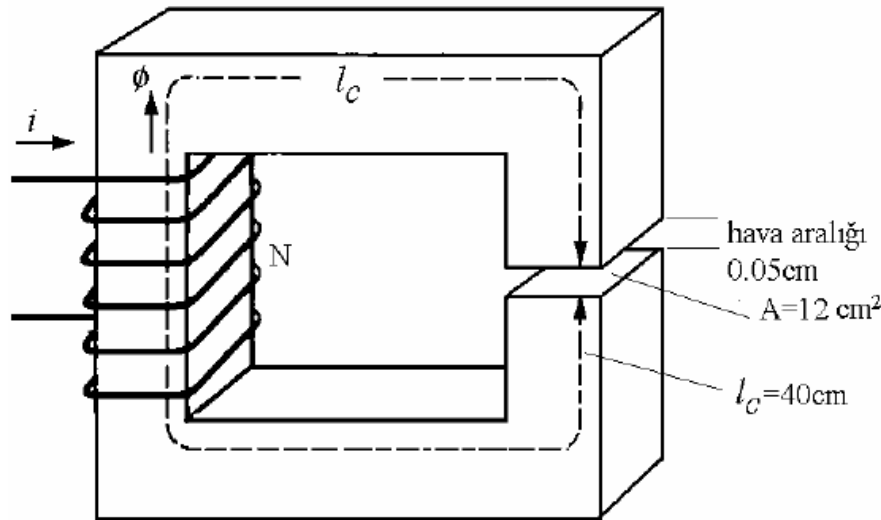


Bölüm 1: Makina İlkelerine Giriş

Örnek:

Şekilde bir manyetik yapının nüve boyutları verilmiştir. Nüvenin bağıl geçirgenliği 3000 ve sargı sarım sayısı 500 olarak verilmiştir. Saçak etkisinin hava aralığı kesit alanını %3 artırdığını kabul ediniz. Bu verilere göre;

- (a) Manyetik yolun toplam relüktansını
- (b) Hava aralığında 0.7 Tesla akı yoğunluğunu üretecek sargı akımını hesaplayınız.



Bölüm 1: Makina İlkelerine Giriş

Çözüm:

(a) Nüvenin relüktansı:

$$\mathfrak{R}_c = \frac{l_c}{\mu_c A_c}$$

$$\mathfrak{R}_c = \frac{0.4}{(3000)(4\pi \times 10^{-7})(0.0012)} = 88464 \text{ At/Wb}$$

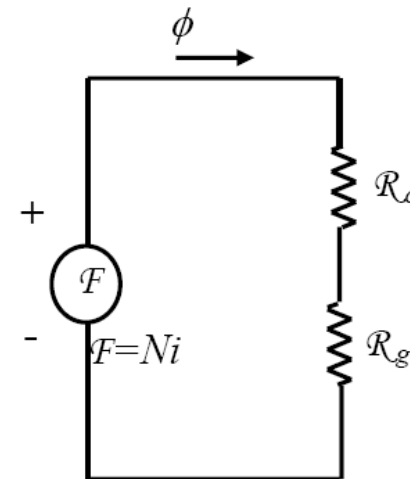
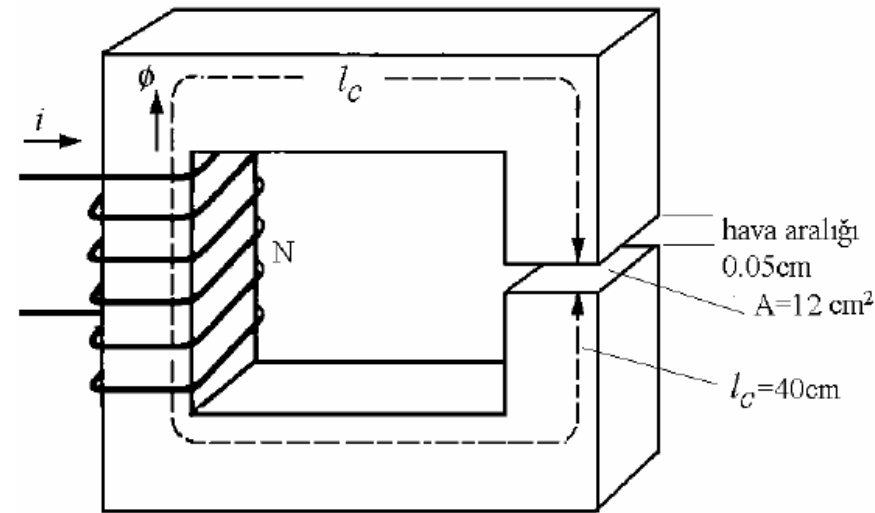
Hava aralığının

etkin alanı = $12(1.03) = 12.36 \text{ cm}^2$

Hava aralığının relüktansı:

$$\mathcal{R}_g = \frac{l_g}{\mu_o A_g}$$

$$\mathcal{R}_g = \frac{0.0005}{(4\pi \times 10^{-7})(0.001236)} = 322078 \text{ At/Wb}$$



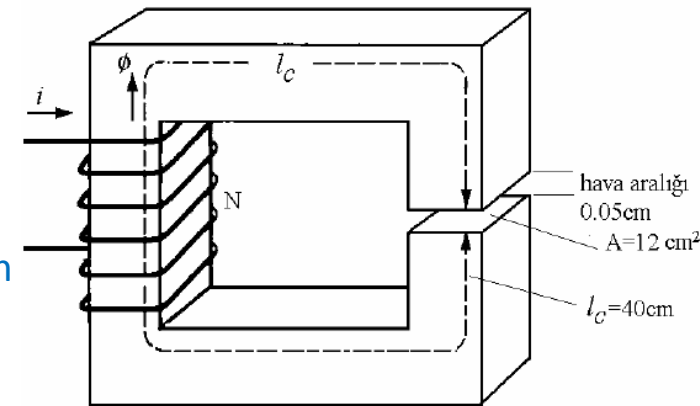
Bölüm 1: Makina İlkelerine Giriş

Çözüm:

Akı yolunun toplam relüktansı:

$$\mathcal{R} = \mathcal{R}_c + \mathcal{R}_g = 88464 + 322078 = 410542 \text{ At/Wb}$$

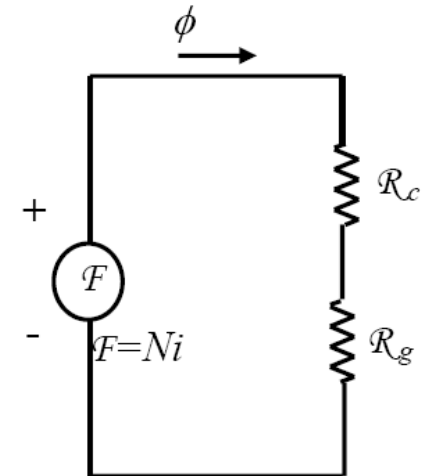
Hava aralığı yaklaşık olarak 800 defa daha kısa olmasına rağmen toplam relüktansın büyük kısmını oluşturmaktadır.



(b) Akım değeri:

$$i = \frac{BA_g R}{N}$$

$$i = \frac{(0.7)(0.001236)(410542)}{500} = 0.71\text{A}$$



Bölüm 1: Makina İlkelerine Giriş

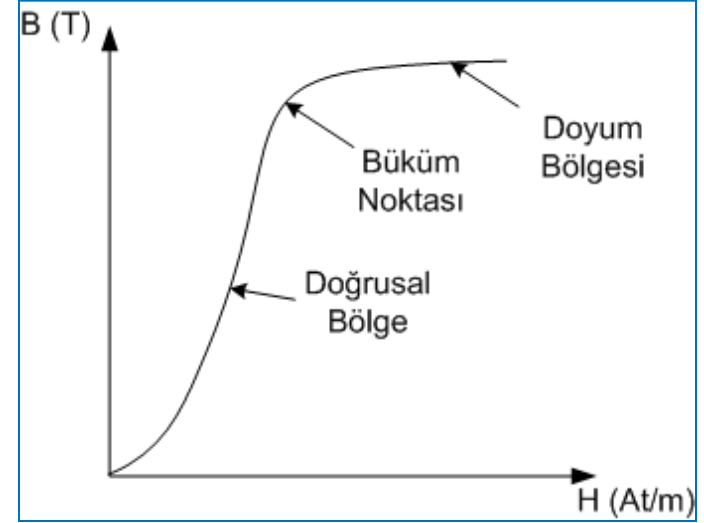
1.4 Ferromanyetik Malzemelerin Manyetik Davranışları

- Bir malzemenin manyetik akı yoğunluğu $\mathbf{B} = \mu \mathbf{H}$ bağıntısı ile ifade edilmektedir. Manyetik geçirgenliği düşük olan malzemelerde μ değerinin sabit olduğu kabul edilir ve B değeri H değeri ile doğru orantılıdır.
- Ferromanyetik malzemelerde ise bu yaklaşım doğru değildir. Çünkü ferromanyetik malzemelerin manyetik geçirgenliği μ , H değeri ile değişim göstermektedir. Bu değişimi ölçmek son derece zordur. Fakat önemli olan manyetik geçirgenliğin değişimi değil, manyetik alan şiddetine göre manyetik akı yoğunluğunun değişimidir.

Bölüm 1: Makina İlkelerine Giriş

BH Grafiği-Mıknatıslama (doyum) Eğrisi

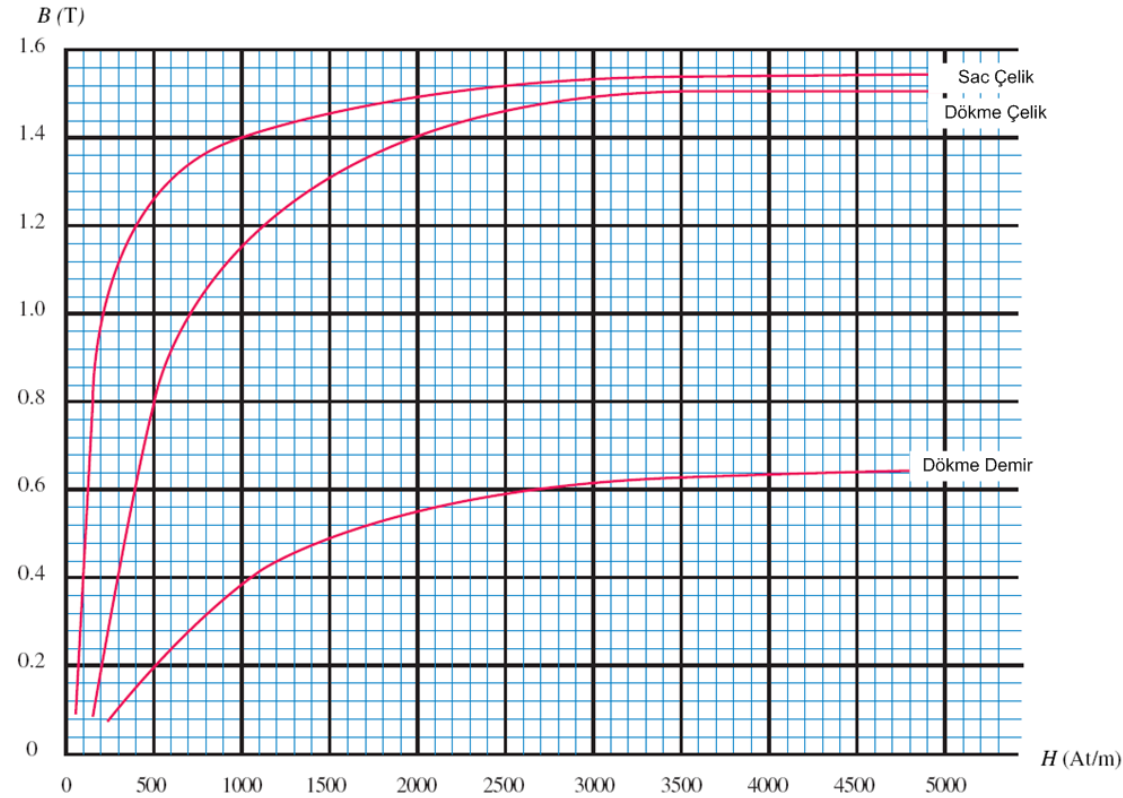
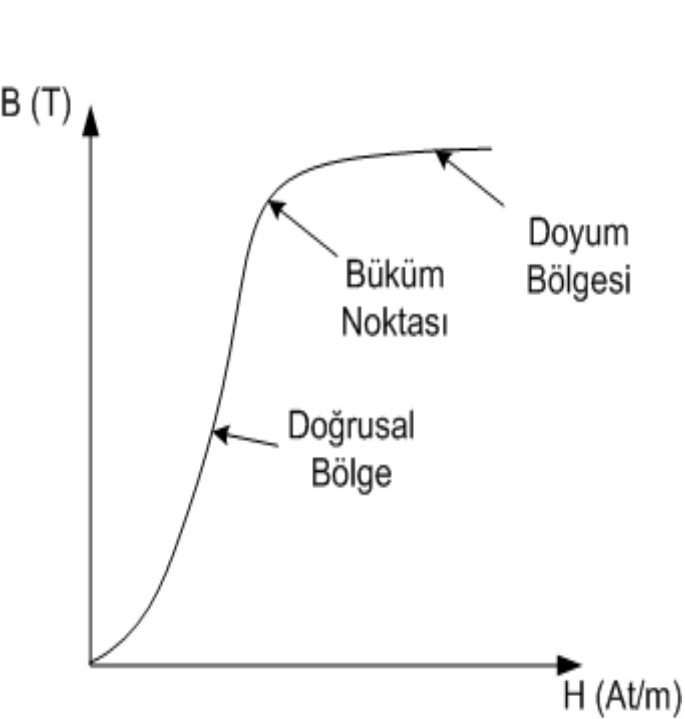
- Manyetik alan şiddetine göre manyetik akı yoğunluğunun değişimini gösteren grafik *BH* grafiği olarak adlandırılır.
- *BH* grafiği 3 bölge olarak incelenebilir.



- 1. Doğrusal bölge:** H ile B doğrusal değişir. Bu bölge mıknatıslanmanın sağlandığı bölgedir.
- 2. Büküm bölgesi:** H ile B daha az bir oranla değişim göstermektedir.
- 3. Doyum bölgesi:** Ferromanyetik malzeme manyetik doyuma ulaşmıştır. Bu noktadan sonra H değeri ne kadar artırılırsa artırılınsın B değerinde bir değişim olmaz.

Bölüm 1: Makina İlkelerine Giriş

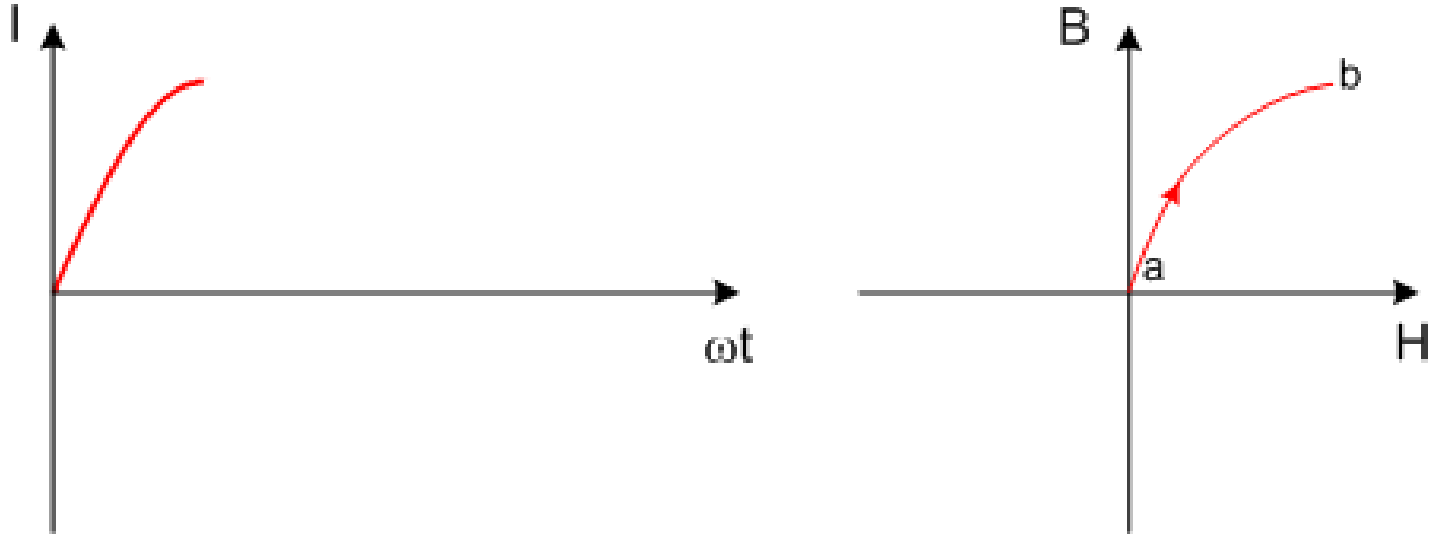
Bazı metallerin mıknatıslanma eğrileri



Bölüm 1: Makina İlkelerine Giriş

1.4.1 Histerisis Çevrimi

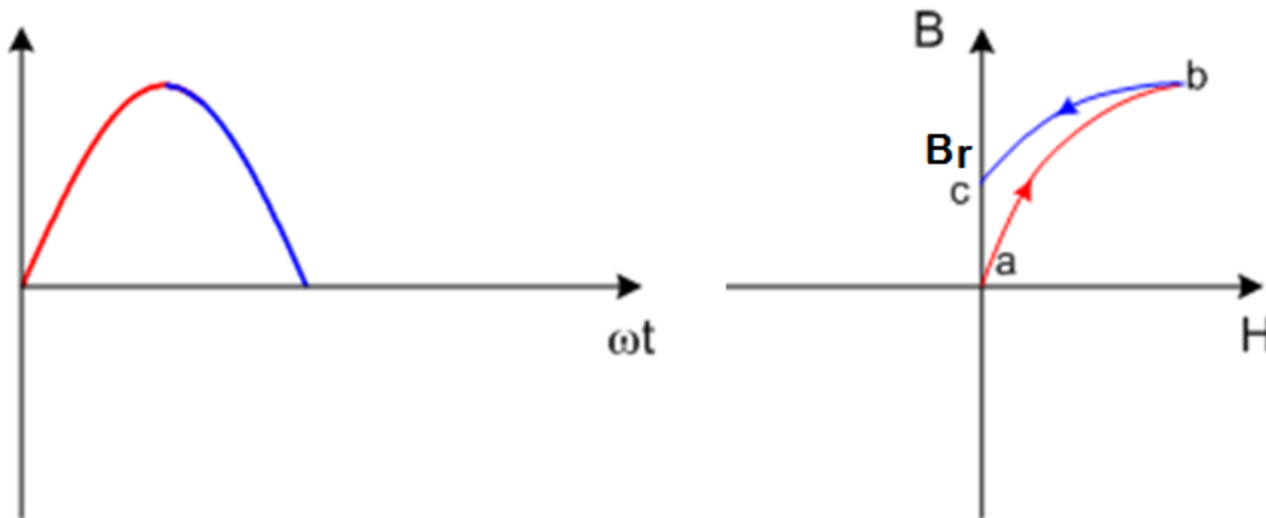
- Daha önceden mıknatıslanmamış bir ferromanyetik nüveye sarılı sargılara AA uygulandığında, AA'ın yükselen kenarında nüvede a-b yönünde mıknatıslanma meydana gelir



Bölüm 1: Makina İlkelerine Giriş

Histerisis Çevrimi

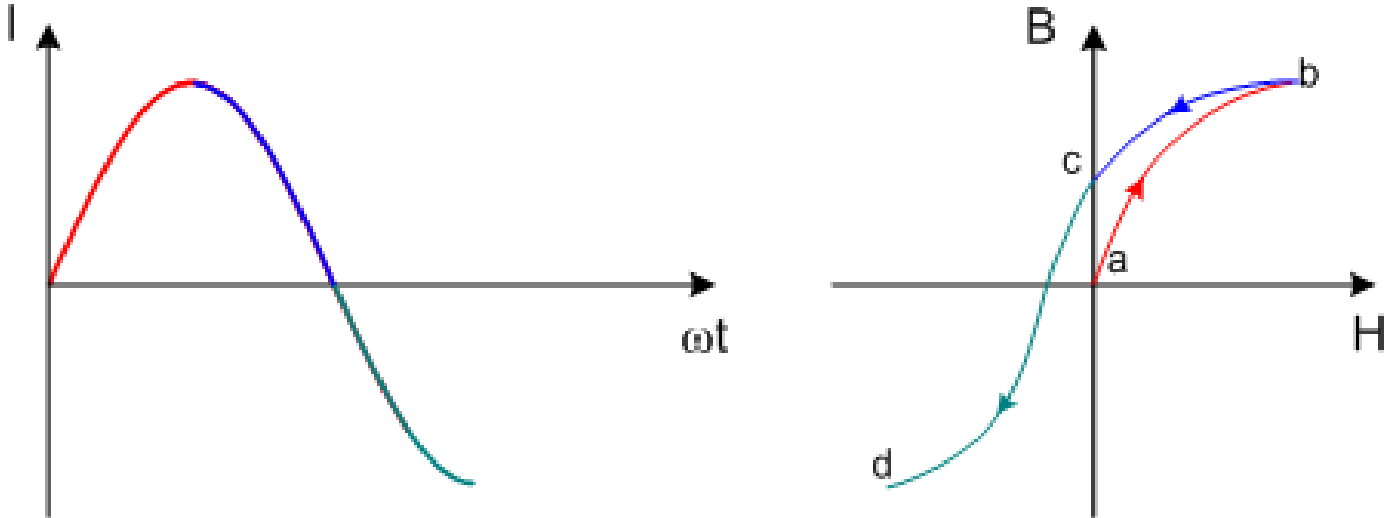
- AA azalmaya başladığında H değeri buna bağlı olarak da B değeri azalacaktır. Fakat AA değeri sıfır olduğunda B değeri sıfır olmayacaktır (b-c eğrisi). Ferromanyetik malzeme üzerinde **artık mıknatısiyet** dediğimiz bir B_r değeri olacaktır.



Bölüm 1: Makina İlkelerine Giriş

Histerisis Çevrimi

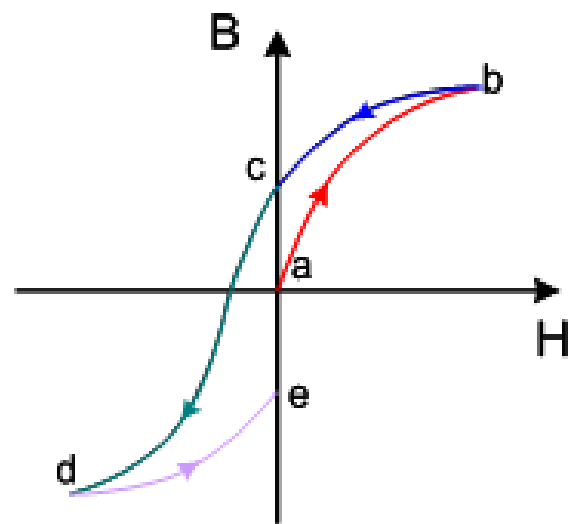
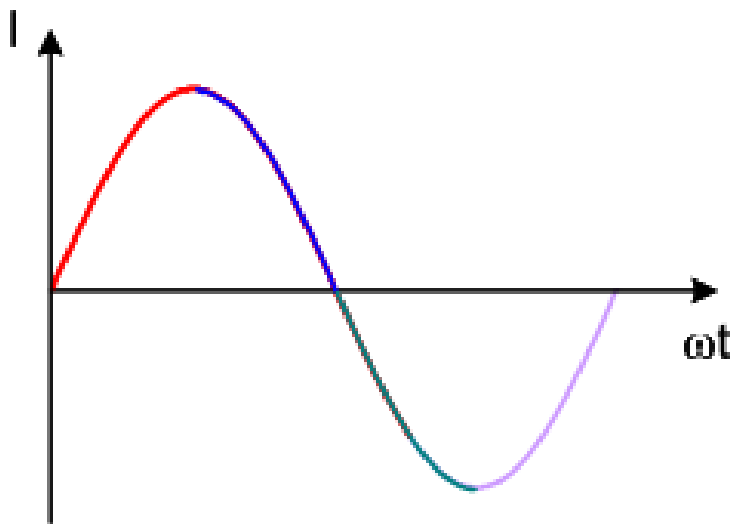
- AA yön değiştirdiğinde mıknatıslanma eğrisi de yön değiştirecektir. Önce artık mıknatısiyet gidecek daha sonra c-d yönünde bir değişim meydana gelecektir.



Bölüm 1: Makina İlkelerine Giriş

Histerisis Çevrimi

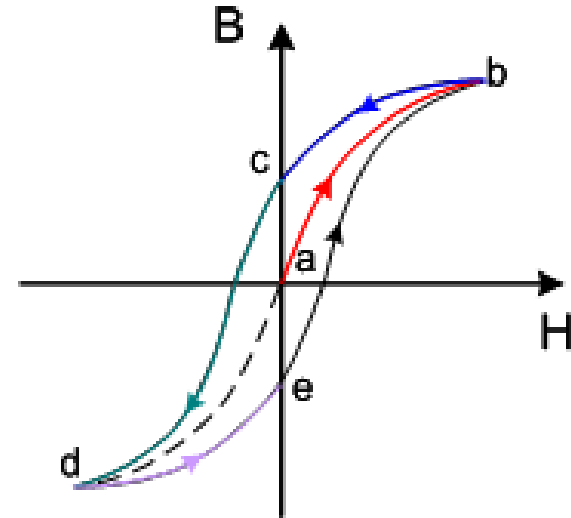
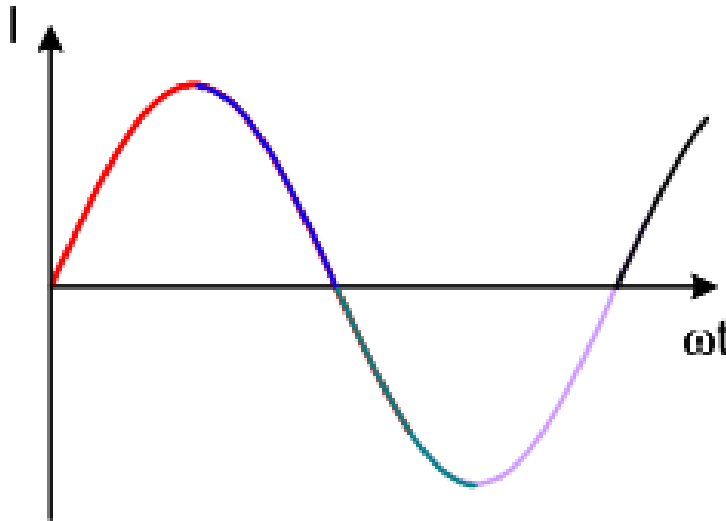
- AA –maksimum değerdan sıfıra doğru yaklaşırken ferromanyetik malzemenin BH eğrisi d-e yönünde olacaktır.



Bölüm 1: Makina İlkelerine Giriş

Histerisis Çevrimi

- AA'ın tekrar pozitif olması durumunda eğri e-b yönünde değişecektir. Bundan sonra BH eğrisi b-c-d-e yönünde değişim gösterecektir. b-c-d-e kapalı çevrimi **histerisisiz çevrimi** olarak adlandırılmaktadır.



Bölüm 1: Makina İlkelerine Giriş

Histerisis Çevrimi

- Histerisiz çevrimin oluşumunu anlamak için ferromanyetik malzeme yapısını incelemek gerekir.
- Ferromanyetik malzemelerin atom yapıları aynı yönde manyetik alana meyillidir.
- Bu malzemeler domain olarak adlandırılan çok küçük bölgelerden meydana gelir. Her domain içinde atomlar manyetik alanları ile aynı yönde sıralanırlar. Böylece her domain bir mıknatıs parçası olarak görev yapar.

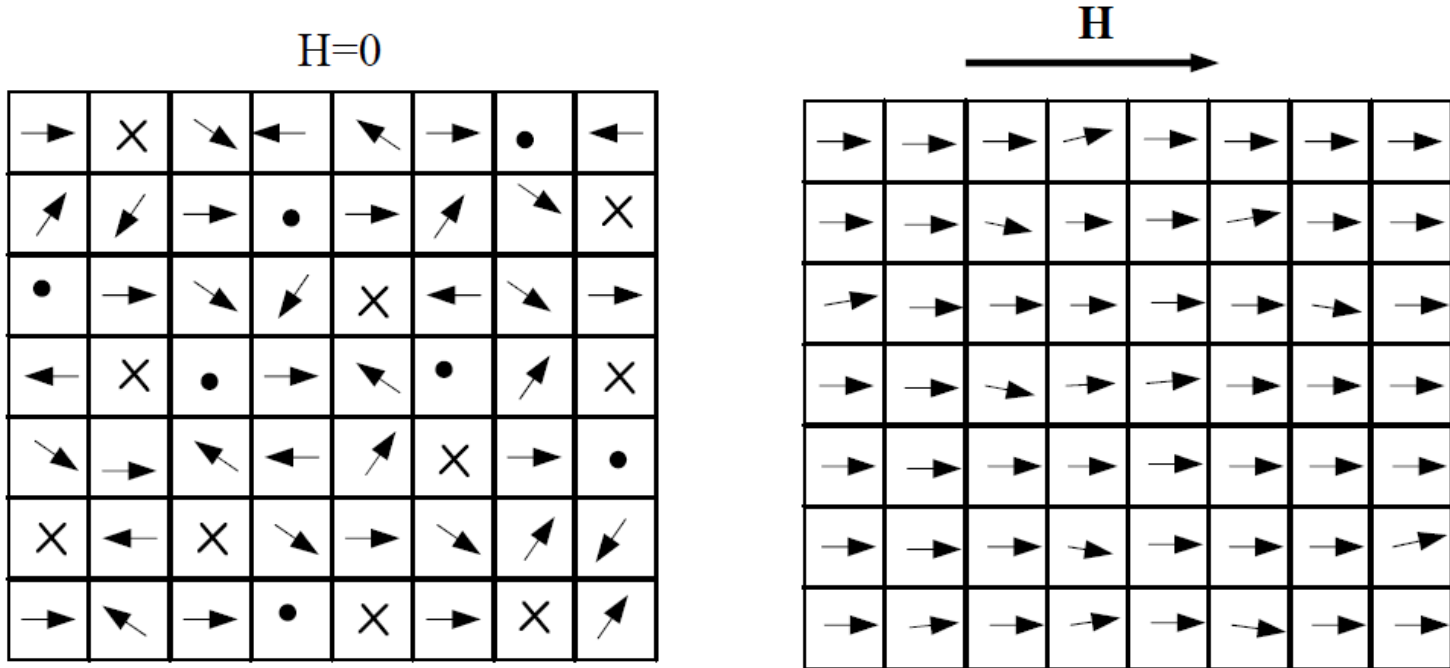
Mıknatıslanma Özelliği

-

Bölüm 1: Makina İlkelerine Giriş

Mıknatıslanma Özelliği

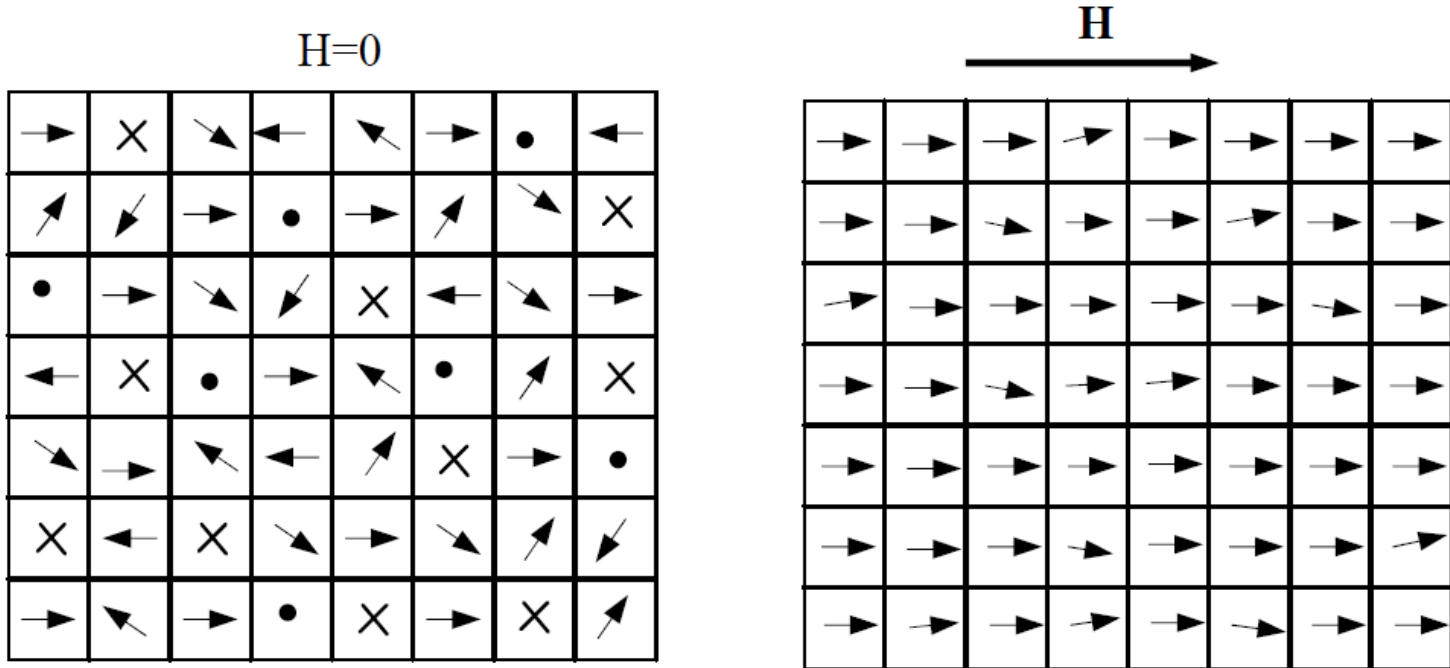
- Demir malzeme harici bir manyetik alan etkisinde kaldığında domainlerdeki atomlar harici manyetik alanı destekleyecek yönde akı oluşturlar. Harici manyetik alanın değeri artırılırsa, bütün domainler aynı yönü gösterirler.



Bölüm 1: Makina İlkelerine Giriş

Mıknatıslanma Özelliği

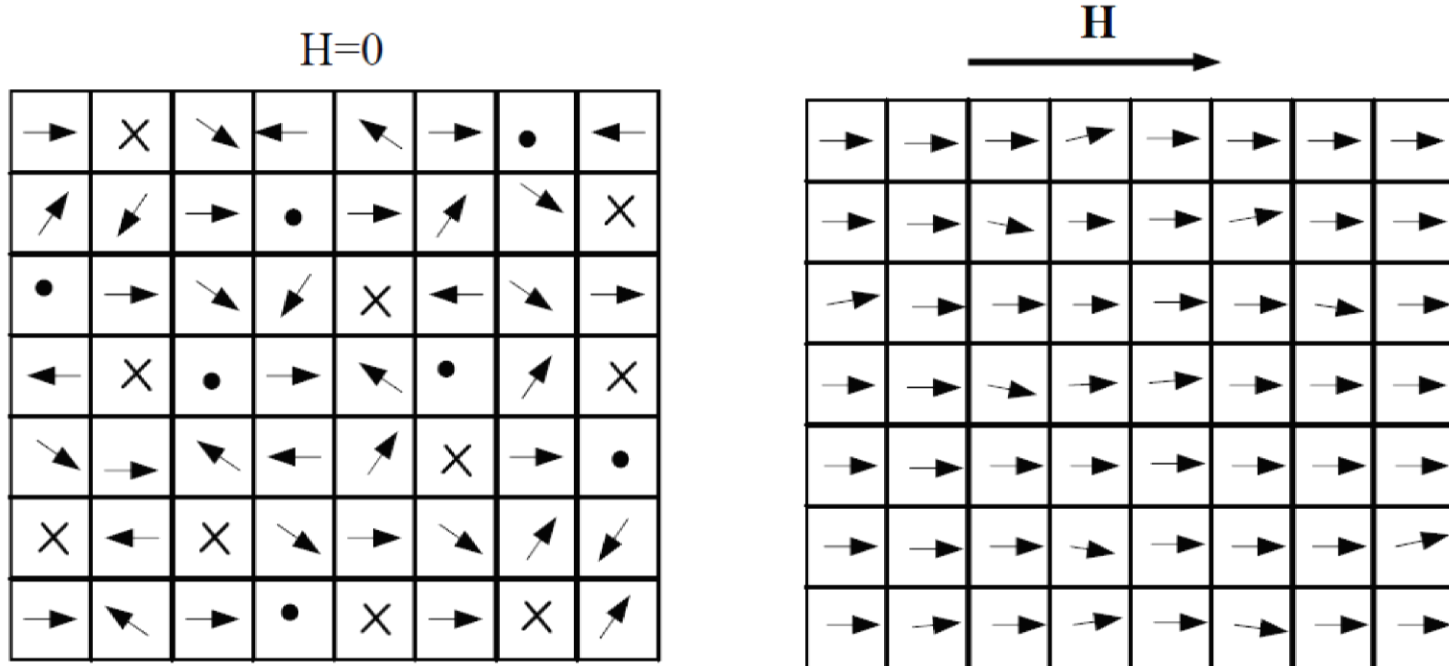
- Domainlerin tamamı manyetik alanı destekleyecek yöne döndüklerinde manyetik alan şiddeti ne kadar artırılırsa artırılсын akı değeriinde bir değışme olmayacaktır. Bu durumda nüve doymuştur.



Bölüm 1: Makina İlkelerine Giriş

Mıknatıslanma Özelliği

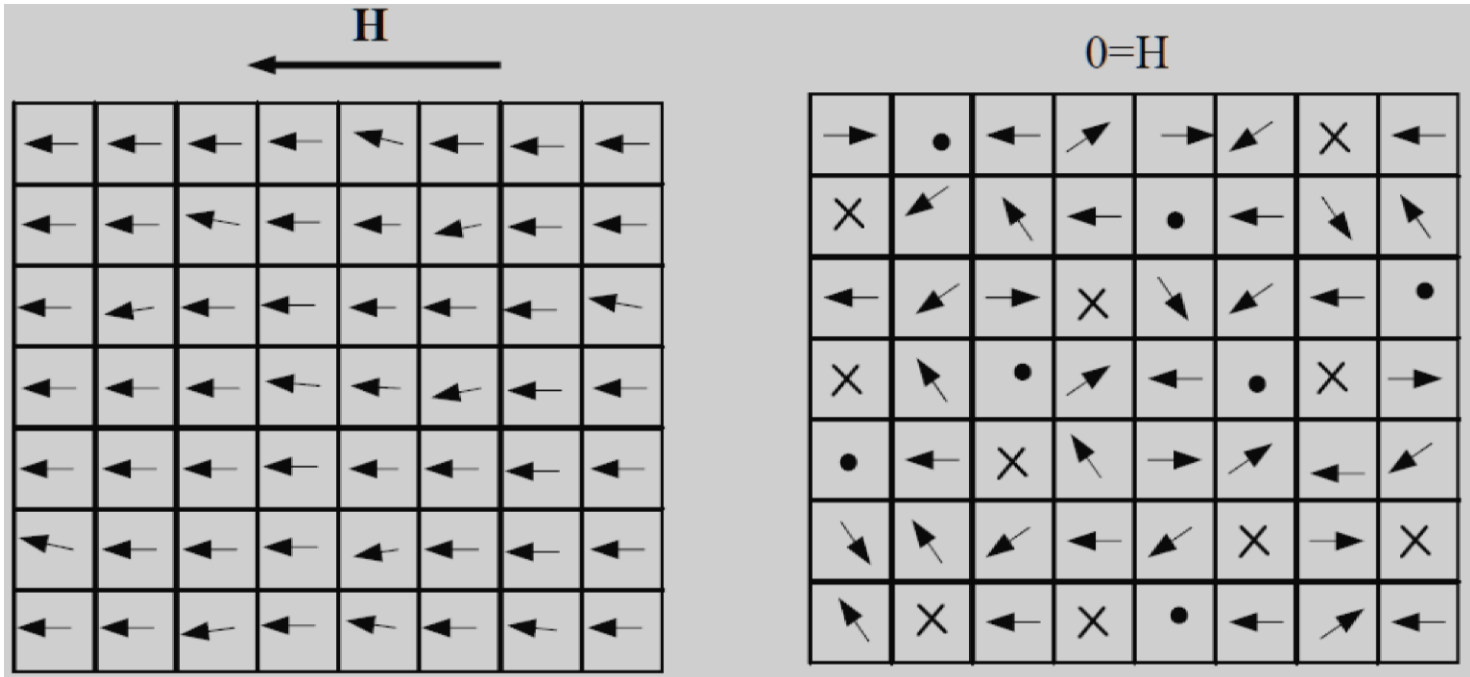
- Demir malzeme üzerindeki harici manyetik alan kaldırıldığında domainler tamamen başlangıç konumuna dönemezler. Bir bölümü manyetik alan etkisinde kaldığı konumunu devam ettirir. Bu da nüvede **artık mıknatıslıyeti** oluşturur.



Bölüm 1: Makina İlkelerine Giriş

Mıknatıslanma Özelliği

- Benzer durum ters yön için de geçerlidir. Eğer harici manyetik alanın yönü değişirse, domainlerin yönü de değişecektir.



Bölüm 1: Makina İlkelerine Giriş

Mıknatısiyetin Giderilmesi

- Ferromanyetik malzemeler ancak dış etkiler ile mıknatıslık özelliklerini tamamen kaybederler.

Bu dış etkenler:

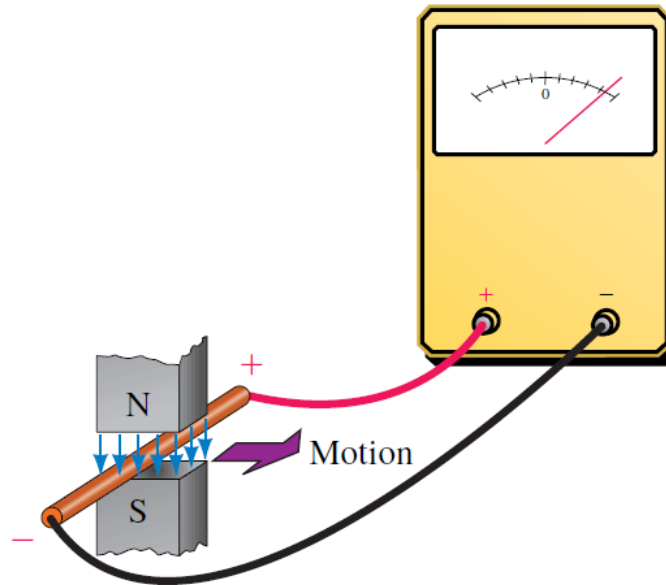
1. Ters yönde bir manyetomotor kuvvetin uygulanması
2. Büyük bir mekanik darbe uygulanması
3. Aşırı ısınma

Bölüm 1: Makina İlkelerine Giriş

1.5 Zamanla değişen manyetik alanın endüklediği gerilim, *Faraday kanunu*

Faraday, değişken bir manyetik akı tarafından kesilen sargı uçlarında bir gerilim endüklendiğini ve bu gerilim değerinin manyetik akının zamanla değişimine bağlı olduğunu ifade etmiştir.

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



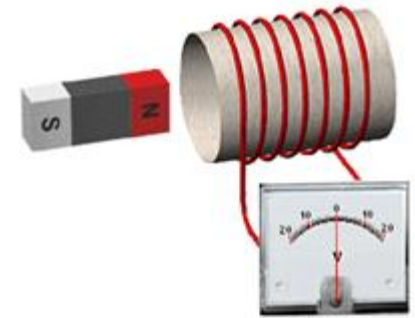
Bölüm 1: Makina İlkelerine Giriş

Zamanla değişen manyetik alanın endüklediği gerilim, *Faraday kanunu*

- Değişken manyetik akı N sarımlı sargıyı keserse, sargı uçlarındaki toplam gerilim her bir sargıda endüklenen gerilimler toplamına eşittir.

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

Faraday'ın endükleme kanunu



- Denklemdaki (-) negatif işaret Lenz kanununun bir ifadesidir. **Lenz kanununa göre;** bir sargıda endüklenen gerilim, eğer sargı uçları kısa devre edilirse, sargıdan bir akım dolaştıracak ve bu akımın üreteceği akı orijinal akının değişimine karşı koyacaktır. Endüklenen gerilim kendisini meydana getiren değişikliğe karşı koyduğu için denklemden negatif işareti kullanılır

Bölüm 1: Makina İlkelerine Giriş

1.6 Bir İletkende Endükleme Kuvvetinin Üretilmesi

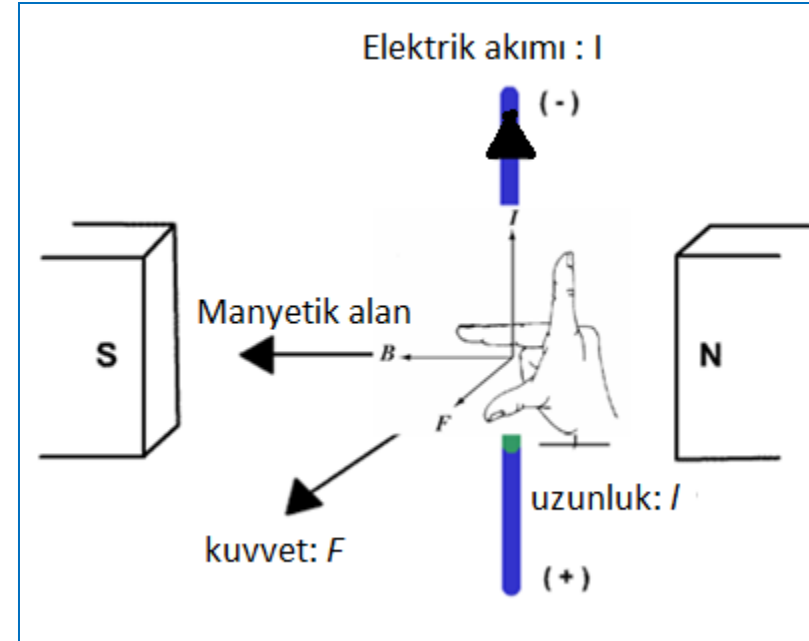
- Manyetik alanın ikinci önemli etkisi ise çevrelediği iletkenler üzerinedir. Manyetik alan, manyetik alan içersinde olan ve akım taşıyan bir iletken üzerinde bir kuvvet endükler. Bu kuvvete **elektromanyetik kuvvet** veya **Lorentz kuvveti** denir.
- Elektromanyetik kuvvet :

$$F = i(\ell \times B)$$

Uygulanan kuvvetin genliği:

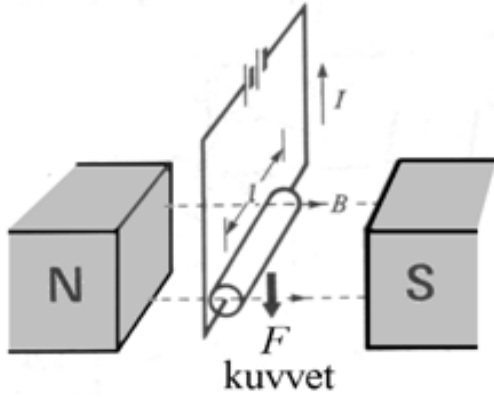
$$F = i l B \sin \theta$$

- i iletken içindeki akım (amper)
- l İletkenin uzunluğudur. İletkenin yönü akımın yönündedir.
- B Manyetik akı yoğunluğu vektörü

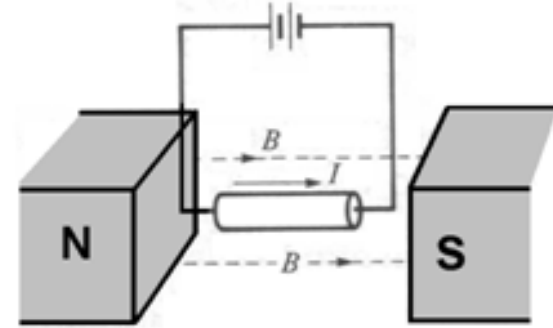


Bölüm 1: Makina İlkelerine Giriş

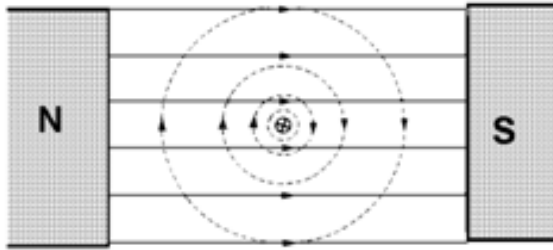
Manyetik alan içindeki akım taşıyan iletken üzerindeki kuvvet



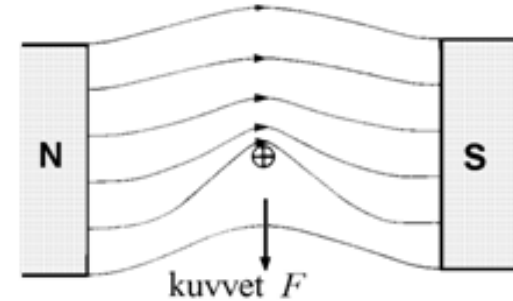
İletken manyetik alana dik,
kuvvet maksimumdur



İletken manyetik alana paralel,
kuvvet sıfırdır



Kutup ve iletken
manyetik akılarının yönleri



Meydana gelen manyetik akı
iletkeni aşağı doğru iter.

Bölüm 1: Makina İlkelerine Giriş

Manyetik alan içinde hareket eden bir iletkende endükleme geriliminin üretilmesi

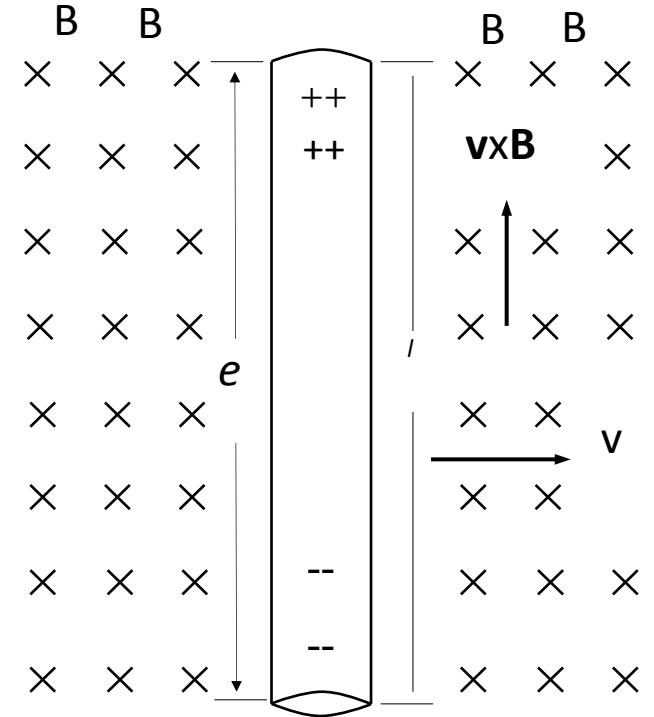
Manyetik alanın çevresi ile etkileşiminin üçüncü bir yolu daha vardır. Eğer uygun konumdaki bir iletken manyetik alan içinde hareket ederse, üzerinde bir gerilim endüklenir.

$$e = (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \bullet \mathbf{I}$$

$\mathbf{v}$ iletkenin hızı,

$\mathbf{B}$ manyetik akı yoğunluğu vektörü

$\mathbf{I}$ manyetik alan içindeki iletkenin uzunluk vektörü



Bölüm 1: Makina İlkelerine Giriş

Ferromanyetik Nüvedeki Enerji Kayıpları

1.Histerisis Kayıpları:

- Demir içinde domainlerin yönünü değiştirmek için gerçekte bir enerjiye gerek duyulması, bütün makinalarda ve transformatörlerde ortak olan bir enerji kaybına neden olur.
- Bir demir nüveye uygulanan alternatif akımın her bir saykılı boyunca domainlerin yön değiştirmesi için harcanan enerjiye *histerisis kayıpları* denir.
- Histerisis çevrimini, nüveye uygulanan alternatif akım şekillendirir ve histerisis çevriminin alanı her bir saykıldaki enerji kayıpları ile oranlıdır.

$$P_h = K_h f B_m^n V$$

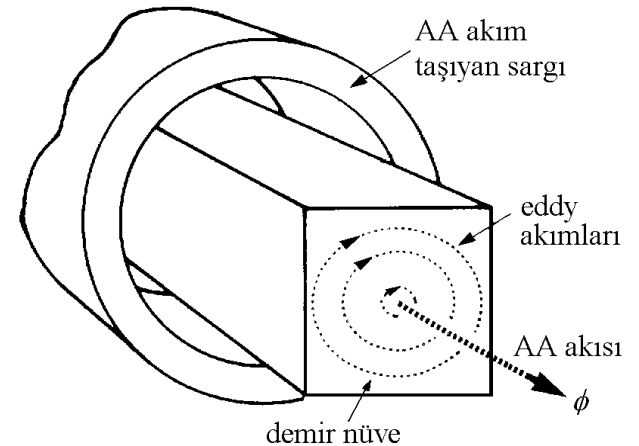
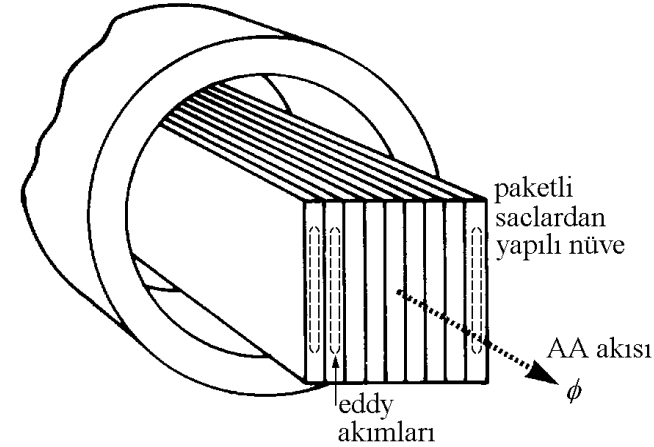
P_h histerisis kayıplar (W), K_h bir sabit olup manyetik malzemeye bağlıdır, n değeri deneysel olarak bulunur ve 1.5-2.5 arasında alınır, V nüvenin hacmidir (m^3).

Bölüm 1: Makina İlkelerine Giriş

Ferromanyetik Nüvedeki Enerji Kayıpları

2.Eddy (girdap) Akımı Kayıpları:

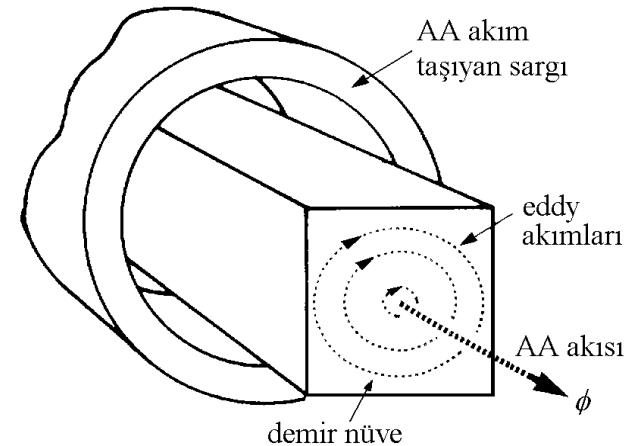
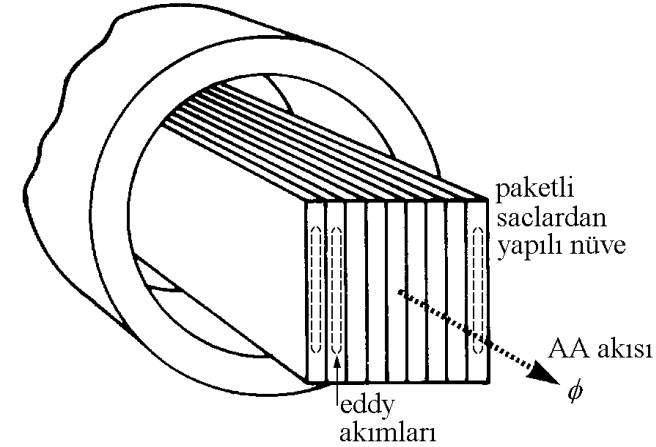
Nüve içinde değişen manyetik alanlar tarafından üretilir. Faraday kanununa göre; zamanla değişen akı, nüve etrafına sarılı sargılarda bir gerilim endüklediği gibi manyetik bir nüve içersinde de bir gerilim endükler. Bu gerilimler nüve içersinde akımın bir halka şeklinde dolaşmasına neden olurlar. Bu olay su akıntısındaki girdaplara da benzetilir ve ismini de oradan almıştır.



Bölüm 1: Makina İlkelerine Giriş

Ferromanyetik Nüvedeki Enerji Kayıpları

- **Eddy akımları** demir nüve gibi rezistif (omik) özelliği olan malzemeler içinden akarlar ve enerji nüve içinde ısı şeklinde harcanır.
- Eddy akımları yüzünden kaybolan enerji miktarı eddy akımlarının nüve içersinde izledikleri yolların boyutları ile orantılıdır.
- Bu sebepten dolayı değişen akıya maruz kalan ferromanyetik nüvenin bir çok **ince levhalardan yapılması** ve levhaların bir yüzünün **silikon ile yalıtılması** artık klasik bir tekniktir.



Bölüm 1: Makina İlkelerine Giriş

Ferromanyetik Nüvedeki Enerji Kayıpları

- Silisli saclardan yapılan nüvede eddy akımları için akım yolları çok kısaltılarak yol direnci artırılır ve böylece eddy akımı ile beraber eddy kayıpları da azaltılır.
- Birim hacim başına eddy akımı güç kayıpları:

$$P_e = K_e (f \cdot B_m \cdot t_1)^2 \quad \text{W/m}^3$$

- Nüvenin toplam eddy akımı güç kayıpları:

$$P_e = K_e (f \cdot B_m \cdot t_1)^2 V \quad (\text{W})$$

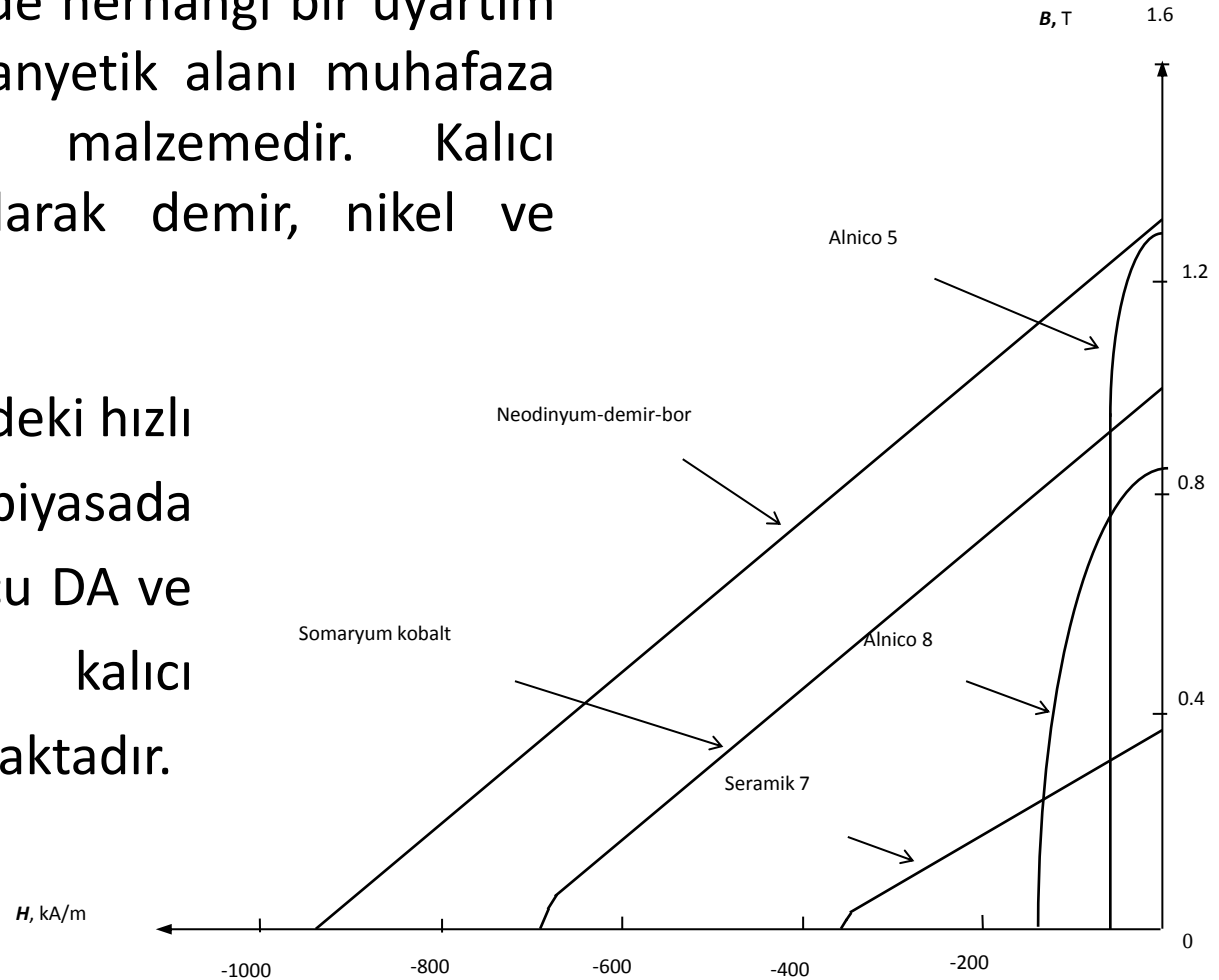
t_1 sac levha kalınlığı, K_e manyetik malzemenin iletkenliğine bağlı sabit. V manyetik nüvenin hacmidir (m^3).

- Hem histerisis hem de eddy akımı kayıpları nüvenin ısınmasına neden olduklarından makina ve transformator tasarımında özellikle dikkate alınmalıdır.

Bölüm 1: Makina İlkelerine Giriş

Kalıcı Mıknatıslar

- Kalıcı mıknatıs, üzerinde herhangi bir uyarım mmk'i yok iken bir manyetik alanı muhafaza etme özelliği olan malzemedir. Kalıcı mıknatıslar normal olarak demir, nikel ve kobalt alaşımlarıdır.
- Yeni kalıcı malzemelerdeki hızlı gelişmeler ve bunların piyasada yerlerini almaları sonucu DA ve senkron makinalarda kalıcı mıknatıs kullanımı artmaktadır.



Bölüm 1: Makina İlkelerine Giriş

Kalıcı Mıknatıs Malzemelerin Özellikleri

- Gerekli olan manyetik akısı kalıcı mıknatıs ile sağlanan bütün makinalarda, kullanılan kalıcı mıknatıs malzemedede iki önemli özelliğin bulunması gerekir.
- Bunlar:
 1. Yüksek bir kalıcı (artık) mıknatısiyet yoğunluğuna sahip olmalıdır. Böylece mıknatıs “kuvvetli” olur ve istenen akıyı sağlar.
 2. Büyük bir giderici kuvvete (kalıcı mıknatısiyeti yok edici kuvvete) sahip olmalıdır. Böylece, dış etkiler tarafından kolaylıkla mıknatısiyeti yok edilemez.

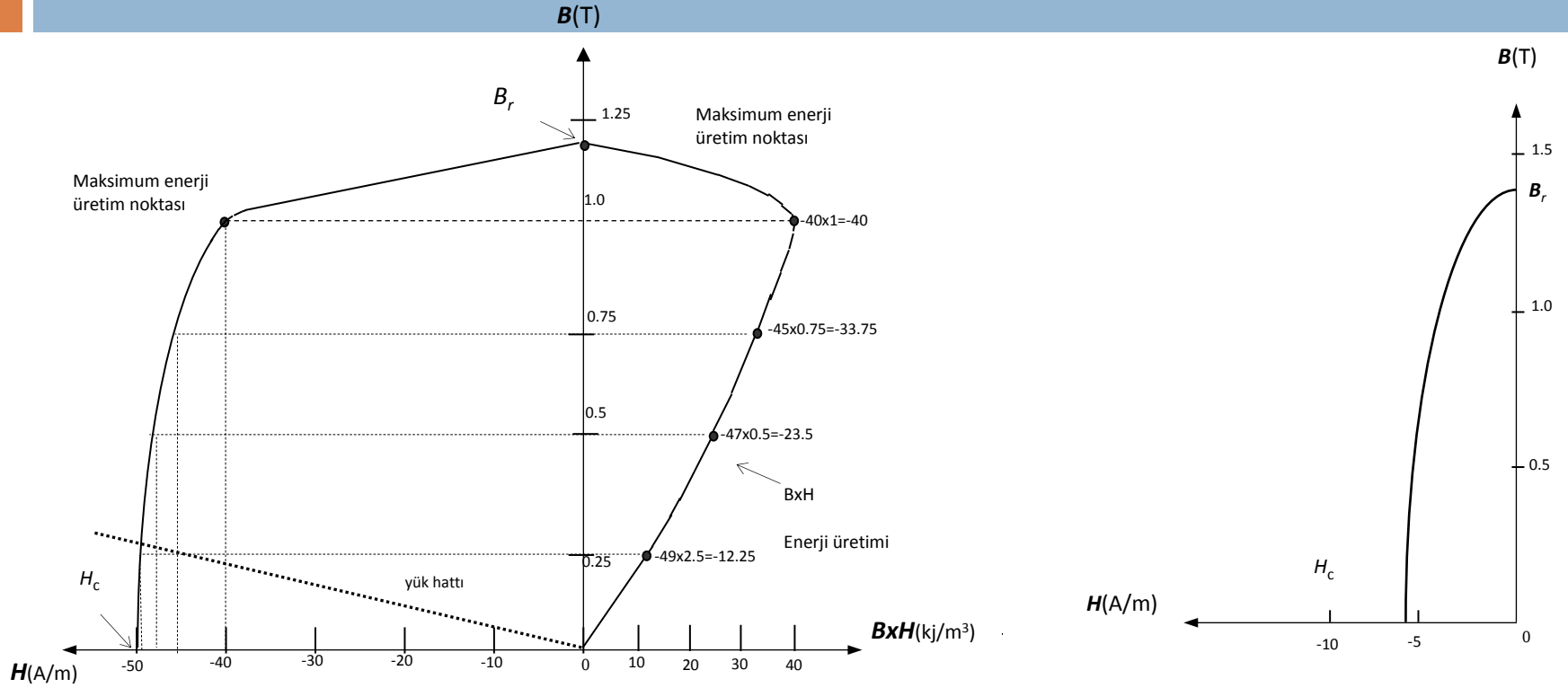
Bölüm 1: Makina İlkelerine Giriş

Kalıcı Mıknatıs Malzemelerin Özellikleri

- İdeal bir kalıcı mıknatıs malzemedен dikdörtgene yakın ve **şişman bir histerisis** eğrisine sahip olması beklenir.
- Böylece, uygulanan alan kaldırıldığı zaman kalıcı mıknatısiyet yüksek bir seviyede olur. Diğer bir ifadeyle, histerisis eğrisi tarafından çevrelenen alan çok geniş olur. Pratikte çok az manyetik malzeme bu bahsedilen gerekleri karşılar.
- Bir kalıcı mıknatıs malzemenin uygun **seçimi** için malzemenin histerisis eğrisinde ikinci bölge ile temsil edilen **giderici kuvvet** ve **artık mıknatısiyet** eksenleri arasında kalan bölge kullanılır.

Bölüm 1: Makina İlkelerine Giriş

Kalıcı Mıknatıs Malzemelerin Özellikleri

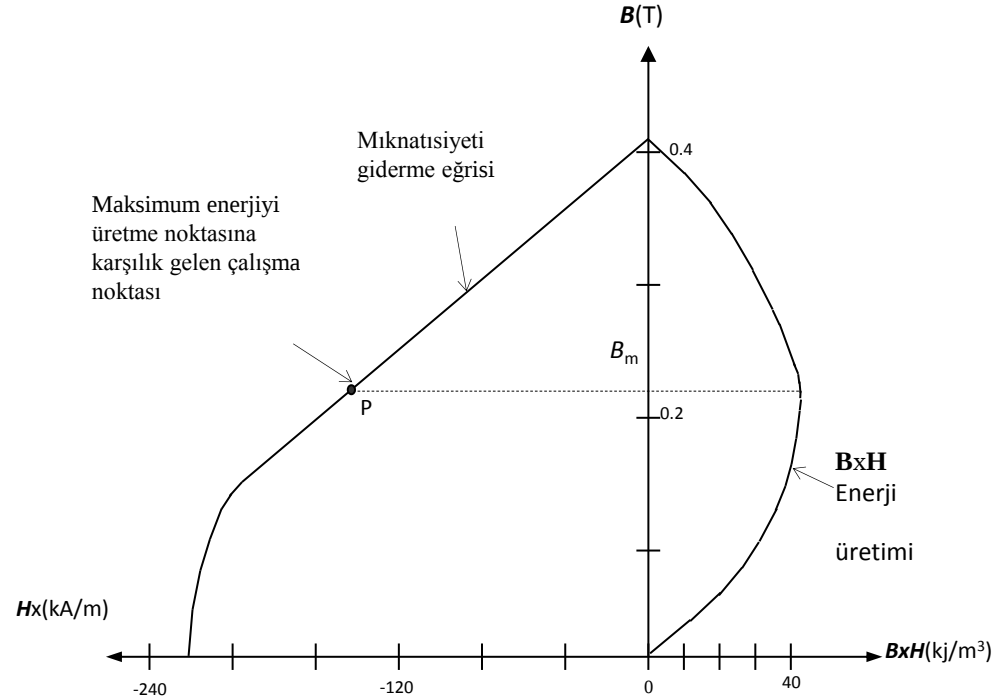


Şekil 'de sert (Alnico-5) ve yumuşak (M-5) çelik malzemeler için histerisis eğrisinin ikinci çeyreği gösterilmiştir. Her iki malzeme yüksek B_r (kalıcı mıknatısiyet) değerlerine sahiptir. Alnico-5 için $B_r=1.22 \text{ Wb/m}^2$, $H_c=-49\text{kA/m}$ ve M-5 çelik için $B_r=1.4\text{Wb/m}^2$, $H_c=-6 \text{ A/m}$.

Bölüm 1: Makina İlkelerine Giriş

Kalıcı Mıknatıs Malzemelerin Özellikleri

Şekilde bir kalıcı mıknatısın giderici kuvvet ve enerji üretim eğrileri gösterilmiştir. **Giderici kuvvet**, bir malzemenin hava aralığı da bulunan bir manyetik devrede akı üretebilme yeteneğinin de bir ölçüsüdür. İyi bir kalıcı mıknatıs olan malzemeler büyük giderici kuvvetler ile karakterize edilirler ($H_c \geq 1 \text{ kA/m}$ gibi).



Bir kalıcı mıknatısın **akı üretme yeteneği** için kullanışlı bir ölçü, mıknatısın **maksimum enerji üretim** noktasıdır. Bu nokta histeresis çevriminin ikinci çeyreğinde BH çarpımının $(BH)_{max}$ en büyük olduğu noktaya karşılık gelir. BH çarpımının birimi joule/m³'dür. Maksimum enerji üretme noktasında çalışma, hava aralığında istenen akıyı üretmek için gerekli en küçük malzeme hacmini sağlar.

Bölüm 1: Makina İlkelerine Giriş

Kalıcı Mıknatısiyetin Önemi

- Kalıcı mıknatısiyet, uyartım akımı veya manyetik alan şiddeti sıfır iken manyetik devrede manyetik akının bulunması sonucu meydana gelir.
- Kalıcı mıknatıs malzemeler (sert manyetik malzemeler, Alnico-5 gibi) ile yumuşak manyetik malzemeler (M-5 elektrik çeliği gibi) arasındaki önemli farklılık bu malzemelerin giderici kuvvetleri arasındaki büyük fark ile karakterize edilir.
- Giderici kuvvet malzemenin mıknatısiyetini yok etmek için gerekli mmk miktarının bir ölçüsü olarak düşünülebilir.

Alnico-5 için $H_c = -49000 \text{ A/m}$

M-5 çelik için $H_c = -6 \text{ A/m}$

M-5 çelike göre Alnico-5 için giderici kuvvet yaklaşık 7500 defa daha büyüktür.