

## Manyetik Malzemeler ve Manyetik Devreler

### 1) Manyetik akıyı en iyi ileten malzeme ailesi nedir? Hava (boşluk) için neler söylenilebilir?

#### Yanıt 1:

Manyetik akıyı en iyi ileten malzeme ailesi; Ferromanyetik Malzemelerdir. Bunların bağıl manyetik geçirgenliği (permeabilitesi) boşluğa göre çok yüksektir (genellikle 200-80000 kat | bu eksin hüküm değildir, gelişen teknolojiyle yeni-daha iyi malzemeler üretilebilmektedir).

Bu malzemeler manyetik alanlı bir ortama konulduklarında, boşluğa göre daha iyi manyetik iletken olduklarından akıyı içlerine çekerler. Aşağıdaki şekle bakınız:



Diğer manyetik malzemelerin manyetik geçirgenlikleri (permeabilite), boşluğa göre tarif edildiklerinden, boşluğu bir sınıfa dâhil etmiyoruz.

### 2) Elektrik makineci gözü ile permeabilitesi büyük malzeme mi iyidir yoksa küçük olan mı?

#### Yanıt 2:

( 1. Yanıtın devamı olarak) Bu yüzden elektrik makinelerinin manyetik devrelerinde, manyetik akıyı iyi ileten; permeabilitesi büyük olan ferromanyetik malzemeler kullanılır.

### 3) Elektrik makinelerinde neden küçük hava aralığı istenir?

#### Yanıt 3:

Hava aralığının permeabilitesi demirli malzemelere (ferromanyetik) göre çok küçüktür. Sadece demir kullanıldığı duruma göre akıyı geçirmek çok daha zorlaşır. Akıyı geçirmek için daha çok  $MMK = AMPER \times SARIM$  ( $F = N \times I$ ) gerekir. Şayet hava aralığı artar ise aynı akıyı elde edebilmek için sarılacak sarım sayısı ve/veya geçmesi gereken akım oldukça artar. Bu da maliyeti-hantallığı-kayıpları arttırır. Makine büyük hacimli olur, verimi düşük olur. Bu nedenle hareketli makinelerde özel amaçlar haricinde hava aralığının küçük olması istenir.

Hareketli makinelerde, hareketli kısmın hareket edebilmesi için, duran kısma yapışık olmaması, yani arada hava boşluğu olması gerekir. Bu zorunlu bir durumdur. Tasarım çok yönlü bir süreç olmakla beraber, genellikle hava aralığı küçük yapılmaya çalışılır.

*İleri analizlerde (genellikle master konularıdır) hava aralığının çok küçültülmesi de başka mahsurlara neden olur; bu da saçılmalara (fringing) ve ilave kaçak akılara, manyetik akı dağılımının bozulmasına (harmoniklere) ve dolayısı ile de ilave kayıplara neden olur, önlisans-lisans öğrencilerimiz bu son ileri analiz açıklaması ile ilgilenmez.*

#### 4) H manyetik alan şiddeti artar ise, başka neler artar?

##### Yanıt 4:

Önce manyetik alanı (H) neler arttırır sorusunun yanıtına bakalım:

$$H = \frac{Ni}{l}$$

(paydadaki / manyetik yolun uzunluğudur, N bobinin sarım sayısı, H manyetik alan şiddeti) Şimdi H'ı arttıracak şeyler, Sarım sayısının ya da akımın arttırılması ya da manyetik yolun kısaltılması olacağını ilişkiden yorumlarız.

$$B = [\mu][H]$$

( $[\mu]$ ); “mü” diye okunur; permeabilite, B; manyetik akı yoğunluğu ya da manyetik indüksiyon). Dolayısı ile H artar ise B artar.

$$[\mu][H]A = BA$$

( $[\mu][H]A$ ); “fi” diye okunur; manyetik akı, A; manyetik akıya dik kesit)

B artar ise manyetik akı ( $[\mu][H]A$ ); “fi”) da artar.

Aşağıdaki açıklamalar ise; bir elektrik makinesi içerisindeki H’nin artması durumunda olacak zincirleme şeyleri örnekliyor:

$$e = Blv$$

(e; emk; bobinde indüklenen gerilim, v; bobin ile manyetik alan arasındaki relatif hız)

Akı yoğunluğunun artması indüklenen emk (e) nin artmasına neden olur.

$$F = BiL$$

(F; kuvvet, i; akım) B akı yoğunluğu artar ise, bu akı yoğunluğu içerisinde i akımını taşıyan bir iletkene etkiyen itme-çekme kuvveti artar. F artar ise motorlarda indüklenenecek döndürme momenti (T) de artar.

Kısacası H’nin büyük olması tercih edilecek bir şeydir, her derde devadır, insan sağlığı hariç:) insan sağlığını belirli bir dozdan sonra kötü etkiler (cep telefonu örneği).

Ayrıca, H'ın artması şayet kuşatılan bir bobin varsa, o bobinin L 'sinin (endüktans) artmasına da yol açar.

### 5) N sarım sayısı arttırılırsa, başka neler artar?

#### Yanıt 5:

N akla gelince, akla gelen yapışık parametreler  $F$  (mmk) ve H' tır.

N'in arttırılmış olması; üretilen mmk'yı arttırır. Zira  $F = Ni$  'dir. Diğer taraftan

$$H = \frac{Ni}{l} = \frac{F}{l}$$

olduğundan H artar.

H'ın artması bizi (4). sorunun yanıtına götürür ve zincirleme bir dizi değişiklik oluşur.

Makineler açısından bu ikisinin artması iyidir denilebilmekle beraber, N in belirli bir değerinden sonra üretilen makinenin verimi ve performansı daha kötü ve maliyeti yüksek olmaktadır. Yani Allah ne verdiyse sarım sayısını arttırmak iyi olmaz.

N'nin arttırılması

$$L = \frac{\mu N^2 A}{l}$$

İfadesi gereği karesel olarak sargıların endüktansını arttırır. Şayet makine bir doğru akım makinesi ise makinenin dinamik davranışında kötüleşme başlar. Şayet makine alternatif akım makinesi ise

$$x_L = 2\pi fL$$

endüktif reaktans olduğundan (empedansın bileşeni), artan endüktans (L) ile beraber makinenin empedansı artar, akım iletme kabiliyeti azalır, üretilen emk, kuvvet ve momentlerde azalmalar olur, verim kötüleşir, makine hantallaşır. Bunun uygun değeri vardır, ileri bir konudur. Zira tasarım konuları çok yönden bakmayı gerektiren zor konulardır. Bu son açıklamalar önlisans düzeyi açısından sadece kulak dolgunluğu içindir.

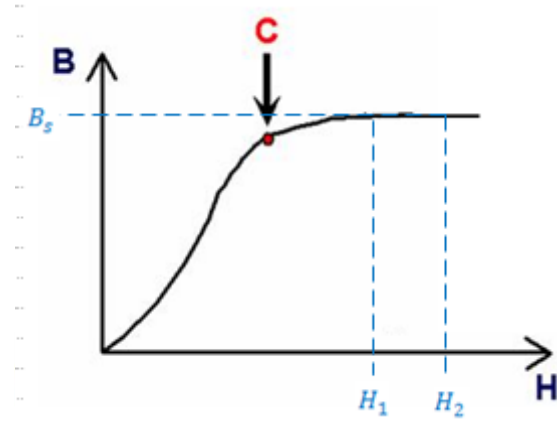
### 6) Doymaya giren bir manyetik çekirdekte, akım arttırıldığında manyetik akı artar mı?

#### Yanıt 6:

Artmaz. Mıknatıslanma (Histerezis) eğrisi hatırlanır ise artan H ile B artmamaya başlar, belirli bir H değerinden sonra ise manyetik devre doyuma girer ve B de artık artış olmaz. Bunu şuna benzetebiliriz: Bir malzemenin birim yüzeyinde belirli sayıda sandalye (yönlenecek manyetik molekül) vardır. Tüm sandalyeler dolduğunda yeni akıların oturacağı yer kalmaz (tüm manyetik moleküller yönlendiğinde yönlenecek yeni molekül kalmadığından, birim yüzeyde akı yoğunluğu artmaz, dolayısı ile manyetik akı artmaz).

Soruda arttırıldığında diye sorulmuş, yanıtlar ise H arttırıldığında diye verildi. Zira konu, akım değil

akımın manyetik etkisi ile yanıtlanabilmekte.  $H = \frac{Ni}{l}$  olduğunu ve akım ile orantılı olduğuna dikkat ediniz.



Üstteki şekil incelendiğinde, kırmızı ile işaretlenmiş C noktasında manyetik ortam doymaya girmeye başlar. Bundan sonra, örneğin H;  $H_1$  'den  $H_2$  'ye yükseltirse bile B akı yoğunluğu  $B_s$  saturasyon (doyma) değerinde kalır, artık artmaz.

arttıran sebepler nelerdir?

Yanıt 7:

7) Relüktansı (elektrik devresinde dirence benzer)

$$R = \frac{l}{\mu A}$$

( $\mu$ ) “mü” diye okunur; permeabilite, A; manyetik akıya dik kesit (alanı), l ise manyetik yolun uzunluğu)

Bu takdirde, permeabilite ( $\mu$ ) ya da nüve (manyetik çekirdek) kesiti (A) azalırsa YADA manyetik yol (l) artar ise manyetik akıya gösterilen direnç diyebileceğimiz manyetik relüktans R ARTAR. Relüktansın artması ile ortam, manyetik akı geçişine daha çok güçlük oluşturacaktır. Relüktansın büyük olması genelde çok sevilmez, bunun altında manyetik akının olabildiğince büyük olması arzusu yatar. Havanın permeabilitesi demire göre çok küçük olduğundan, havanın manyetik relüktansı çok büyük olur, işte hava aralığı bu yüzden küçük olsun istenir.

8) Manyetik devrelerde Ohm ve Kirchoff Yasalarının karşılıklarını anladık mı?

Yanıt 8:

Ohm kanunu:

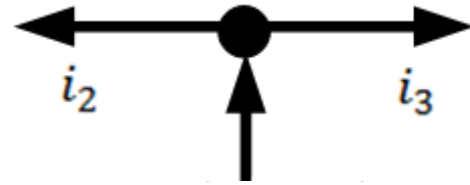
Elektrik devrelerinde:

$$i = \frac{E}{R}$$

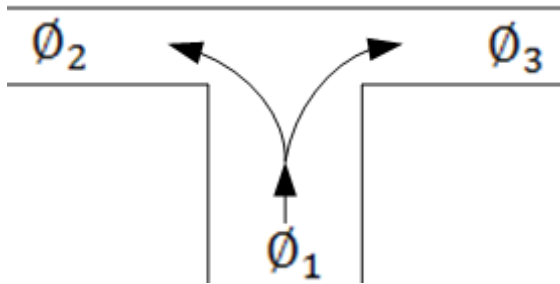
manyetik devrelerde ise

$$F = \frac{F}{R}$$

olur.

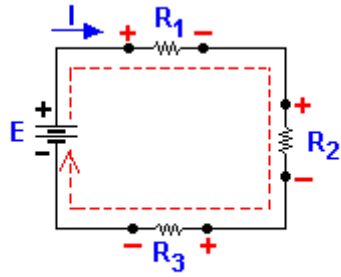
**Kirchoff 'un akımlar Yasası:**

Elektrik devrelerinde gelen akımların toplamı giden akıların toplamına eşittir:  $i_1 = i_2 + i_3$



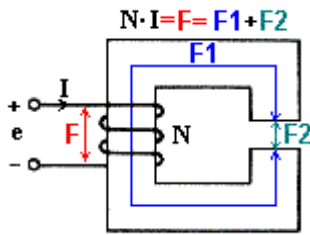
Manyetik devrelerde ise, gelen manyetik akıların toplamı giden manyetik akıların toplamına eşittir:

$$\Phi_1 = \Phi_2 + \Phi_3$$

**Kirchoff 'un Gerilimler Yasası:**

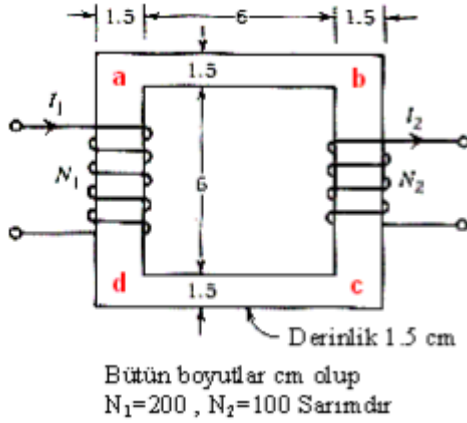
Elektrik devresine uygulanan gerilim; çevre içerisindeki diğer devre elemanları üzerlerine düşen gerilimlerin toplamına eşittir.

$$E = V_{R1} + V_{R2} + V_{R3}$$



Manyetik devrelerde ise, manyetik devreye uygulanan mmk; çevre içerisindeki diğer devre elemanları üzerlerine düşen mmk'lerin toplamına eşittir.

Burada şuna dikkat etmelisiniz. E (emk) kaynağında akım + dan çıkar devreyi dolaşır;  $F$  (mmk) kaynağında ise manyetik akı N (manyetik kuzey) kutbundan çıkarak manyetik devre içerisinde dolaşır. İşte burada burada bobinin üreteceği mmk nin, manyetik eşdeğerinde + ucunun belirlenmesi dikkat ister; sağ el tirbuşon kuralı ile N kutbunu belirlemeden mmk kaynağının + ucu belirlenemez. Bu ilk dersten bu yana işlenmekte ve ders içerisinde konu ile örnek mevcut. Yine ders içerisindeki özel bir örnekte (aşağıdaki şekil) mmk kaynaklarının birbirine ters konumlanmış olduğuna dikkat ediniz (ders notlarına bakınız):



### 9) Histerezis çevrimi neden oluşur?

**Yanıt 9:**

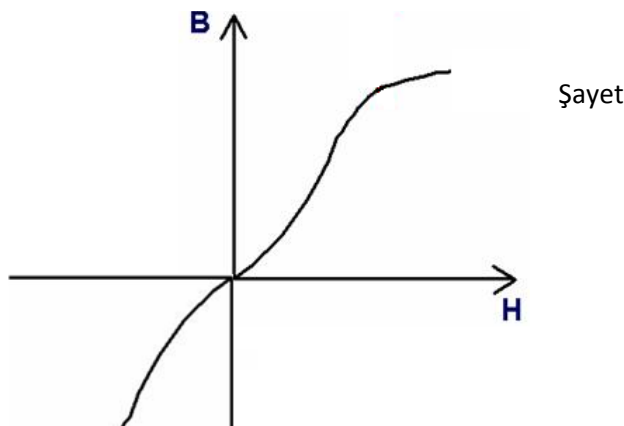
Kaset teybin manyetik şeridini düşünün. Bilgi banda yazılır ve manyetik hafızada kalır (banttaki manyetik moleküller yazma kafası tarafından yönlendirilmiş ve öyle kalmış; yönlendirilmenin hafızada kalması manyetik malzeme ile ilgili bir konudur). Bu bilginin yazılması için bir yazma kafasındaki bobine + yönde akım verildiği düşünölsün. Peki bu bilginin silinir mi? Normal şartlarda hayır! Bu bilgiyi silmek için ters yönde manyetik alan uygulanarak yazılmış bilgi iptal edilmelidir, diğer bir deyişle ters yönde akım akıtılmalıdır bobinden. Kilit konu ise şu: silmek için verilmesi gereken enerji, yazmak için verilen enerjiden büyüktür.

Buradan tüme varırsak, ferromanyetik malzemelerde az ya da çok mutlaka hafıza etkisi vardır. Uygulanan manyetik alan demir çekirdekte kalıcı mıknatısiyet oluşturur. Şimdi bir bobine değişken manyetik akı uygulandığı varsayılır ise; bu bir ucun önce N kutbu sonra S kutbu... şeklinde periyodik devinimini gerektirir.

Fakat oluşturulmuş N kutbundan sonra S kutbunu oluşturmak için önce N kutbunun kalıcı etkisini (hafıza) silmek gerekir.

Dolayısı ile mıknatıslanma eğrileri hiçbir zaman gittiği yoldan dönmez, döndüğü yoldan da gitmez. Bu gidiş dönüş yörüngeleri Histerezis çevrimini oluşturur.

Bu çevrim içerisindeki alan büyük olursa, birikmiş akıyı silmek için daha fazla manyetik alan gerektiği (H) anlaşılır. Alanın büyük olması kayıp enerjinin büyük olacağını söyler, bu kayba da histerezis kaybı denir. Histerezis kaybı demir kayıplarının (demir manyetik çekirdek üzerinde oluşan enerji kaybı) bileşenlerinden bir tanesidir.



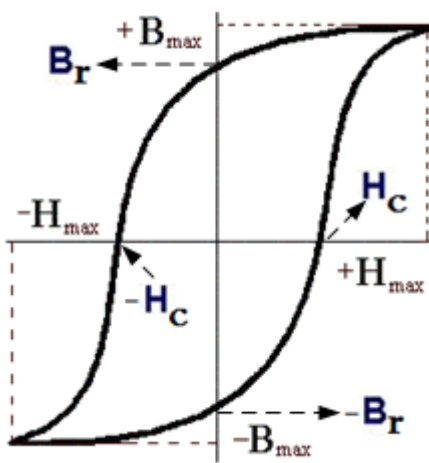
Soldaki gibi bir histerizis çevrimi var ise (bu öze örnekte ileri ve geri yönde mıknatıslanma aynı çizgi üzerinden gidiyor)

Burada histerezis etkisinden ve kaybından söz edilmez, yoktur.

Bu malzemede kalıcı mıknatıslık hiç oluşmamaktadır.

$B_r$ : Remenans (kalıcı) akı yoğunluğu ya da artık mıknatısiyet

$-H_c$ : Coersive (koersif) alan: kalıcı mıknatısiyeti ( $B_r$ 'yi) silmek için gerekli ters manyetik alan olmak üzere:



Şayet

Soldaki gibi bir histerizis çevrimi var ise, malzeme I. Bölgede mıknatıslandıktan sonra, H alanı kesilirse (sıfır yapılırsa)

Malzeme üzerinde  $B_r$  ile işaretlemiş miktarda artık mıknatısiyet kalır. Diğer bir deyişle, alın malzemeyi gidin, halen mıknatıs gibi davranır.

Şimdi aynı malzemeye alternatif mıknatıslanma uygulamak için alternatif akım ile uyarma yapalım. Mıknatıslanmayı  $+B_{max}$  ile  $-B_{max}$  arasında mıknatıslandırmaya niyetlenmişsiniz demektir.

Malzemeyi bulunduğu durumdan ( $B_r$ ), önce sıfır akı yoğunluğuna ardından da,  $-B_{max}$  'a kadar mıknatıslamak gerekir. Fakat önce, birikmiş  $B_r$  yi silmek için  $-H_c$  kadar ters yönde alan vermek gerekir.

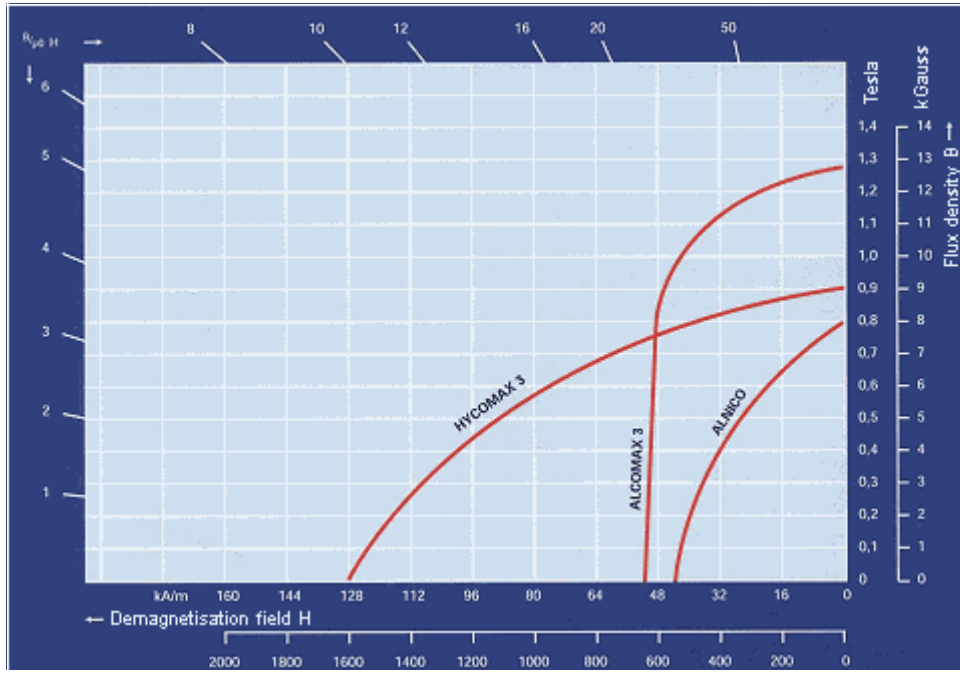
Bu süreç devam ettiği sürece, düz yada ters yönde birikmiş akı yoğunluklarını silmek için sürekli ilave enerji gerekir. Histerezis çevrimi ne kadar şişko ise bu enerji o kadar büyüktür; dolayısı ile histerezis kaybı da o kadar büyüktür. Oysa, ilk şekilde histerizis çevrimi çok ince (çevrim yok) idi.

Buradan hareketle;

Alternatif mıknatıslanmaya tabi tutulacak ya da alternatif alan içerisinde kalacak manyetik malzemelerin histerezis çevrimlerinin şişko olmaması tercih edilir ki histerezis kayıpları küçük olsun.

Ters olarak;

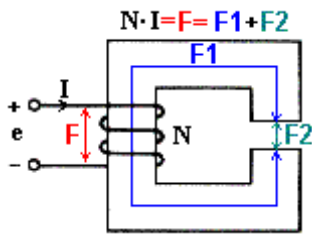
sabit mıknatıslarda hem  $B_r$  nin ve hem de  $-H_c$  'nin çok büyük olması istenir. Bunun sebebi  $B_r$  büyük olursa; kuvvetli kalıcı bir mıknatıs elde etmiş olursunuz;  $-H_c$  büyük olursa da, bu mıknatıs dış manyetik etkiler ile kolay kolay silinmez (mıknatıslığını kaybetmez). Bu yüzden sabit mıknatısların histerezis çevrimleri çok şişkodur. Sabit mıknatıslarda BH çevriminin sadece II yarısı ile ilgilenilir. Bir katalog eğrisi aşağıdaki gibidir:



[http://www.magdev.co.uk/material\\_aluminium\\_nickel\\_cobalt\\_alloys.aspx](http://www.magdev.co.uk/material_aluminium_nickel_cobalt_alloys.aspx)

**10) Bir demir çekirdekte, akı yoluna açılacak bir hava aralığı nasıl bir etki yapar? Neleri etkiler?**

**Yanıt 10:**



Şekildeki gibi, demir çekirdek üzerinde bir hava boşluğu açıldığında, hava boşluğunu da mıknatıslamak gerekecektir. Hava boşluğu olmayan duruma göre F2 kadar ilave bir mmk gerekir. Bu da ilave sarım sayısı ya da daha fazla akım verilmesi anlamına gelir.

Bunun sebebi, boşluğun permeabilitesinin (manyetik geçirgenliğinin) demire göre çok daha küçük olmasıdır (200 ile 80000 kat küçüktür).

Bu da hava boşluğunda daha büyük relüktans (manyetik direnç) oluşumuna neden olur, toplam relüktans artar, manyetik akıyı zayıflatır, manyetik akıyı eski değerine (hava aralığı olmayan duruma göre) geri getirmek için daha fazla sarım ve/veya daha fazla akım gerekecektir.

**11) Manyetik devrelerde MMK, elektrik devrelerindeki hangi parametreye benzerdir?**

**Yanıt 11:** 8. Soru anlaşıldığında; manyetik devrelerdeki mmk'nin, elektrik devrelerindeki emk'ye benzer olduğu anlaşılabacaktır. Her ikisi de ilgili ortamda sürücü etkenlerdir. Yani, manyetik devrede mmk olmadan manyetik akı akamaz; elektrik devresinde de emk olmadan elektrik akımı akamaz.