



T.C.  
KOCAELİ SAĞLIK VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK VE DOĞA BİLİMLERİ FAKÜLTESİ BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ  
BÖLÜMÜ  
2021-2022 BAHAR YARIYILI FİZ120 FİZİK II DERSİ

# FARADAY YASASI-İNDÜKSİYON

# Faraday Yasası

# Jeneratör ve Transformatörler



- 19.yy. ortalarına doğru manyetik alanın elektrik akımlarından kaynaklandığı anlaşılmıştı. Doğal olarak pek çok kişinin aklına «acaba manyetik alanda elektriğe yol açabilir mi?» sorusu geliyordu. Nihayet 1831 yılında İngiliz bilim adamı Michael Faraday (1791-1867) manyetik indüksiyon etkisiyle elektrik akımını üretmeyi başardı. Günümüze kadar teknolojide bundan daha büyük bir devrim yapılmadı. Motorlar, jeneratörler, transformatörler, kablosuz enerji ve sinyal iletimi... hepsi bu keşfin sonucunda geliştirildiler.

- Manyetik indüksiyonun keşfi bilimde bir halkayı da tamamlamış oldu. James Clerk Maxwell tarafından **elektromanyetik teori** adı altında, elektrik ve manyetizmanın birbirini ürettiği ve etkilediği tek bir teori bulunmuş oldu.

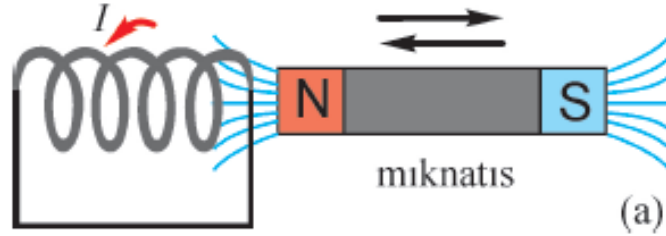
# FARADAY YASASI



- İletken bir çerçevenin yakınında bir mıknatıs çubuğunu hareket ettirdiğimizde, çerçevede bir akım oluştuğu gözlenir. Mıknatıs ne kadar güçlü olursa olsun, hareket etmediği sürece çerçevede akım oluşmaz. Bu deney bize, çerçeveden geçen manyetik alan çizgilerinde bir *değişme olduğunda* akım geçtiğini gösterir.

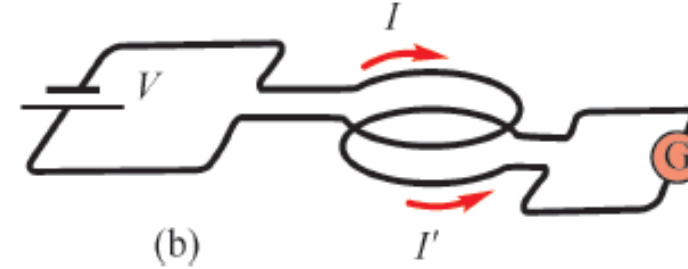
# FARADAY YASASI

## Deneyisel gözlemler:



(a) Mıknatıs çubuğu iletken çerçeveye yaklaştırdığımızda, çerçevede bir akım oluşur.

Mıknatıs çubuk hareket etmezse çerçevede akım oluşmaz. ▼

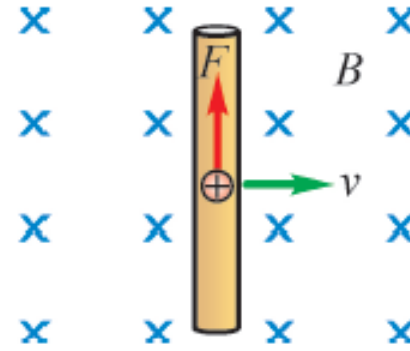


(b) Bataryaya bağlı 1. çerçevede anahtar kapatılıp akım başlatıldığında, bataryasız 2. çerçevede akım oluşur.

1. çerçeveden geçen akım sabit ise, 2. çerçevede akım oluşmaz. ▼

Her iki durumdan çıkan sonuç: Bir çerçeveden içinden geçen manyetik alan çizgilerinde bir *değişme olduğunda* akım üretilir.

Bu etkiyi anlatan basit bir deney:



Manyetik alana dik bir düzlemde iletken bir çubuk.

Çubuğu  $\vec{v}$  hızıyla hareket ettirelim. ▼

İletken içindeki serbest bir  $+q$  yüküne etkiyen  $\vec{F}$  kuvveti:

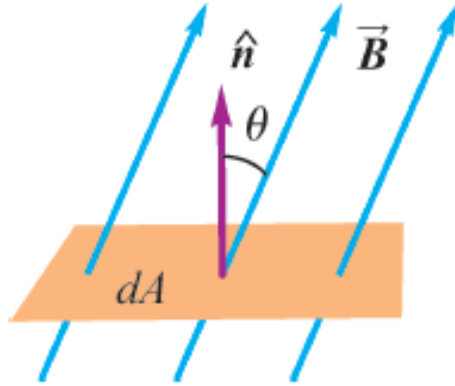
$$\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$$

Kuvvet hem manyetik alana ve hem de hıza dik  $\rightarrow$  Yukarı yönelik. ▼

$+q$  yükleri iletkenin üst ucunda toplanır, altta eksi yüklü bir uç bırakır.

Böylece, iletkenin iki ucu arasında bir potansiyel farkı oluşur.

## Manyetik akı:



Bir  $A$  yüzeyini dik kesen manyetik alan çizgileri sayısıdır:

$$\Phi = \int_{A \text{ yüzeyi}} B dA \cos \theta \quad (\text{Manyetik akı})$$

$\theta$  açısı manyetik alan vektörüyle yüzey normali  $\hat{n}$  arasındaki açıdır. ▼

### Faraday Yasası

İletken çerçeveye çevrelenmiş bir yüzeyden geçen manyetik akının zamana göre değişimi, bu çerçevede bir indüksiyon elektromotor kuvveti oluşturur:

$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi}{dt}$$

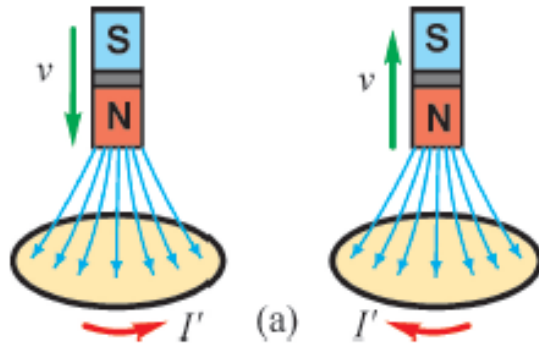


Eksi işaretinin anlamı **Lenz kuralı** ile açıklanır.

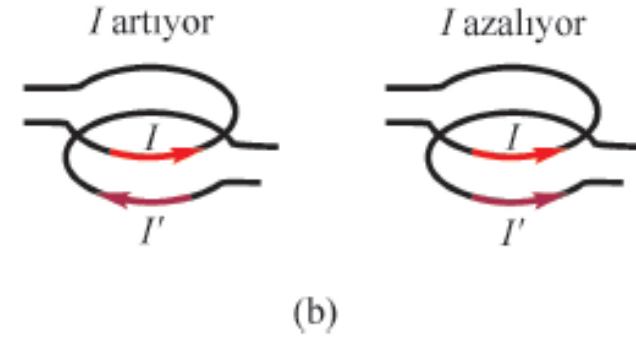


## Lenz Kuralı

İndüksiyon emk sının oluşturacağı akım, manyetik akıdaki değişime karşı koyacak yönde olur. ▼



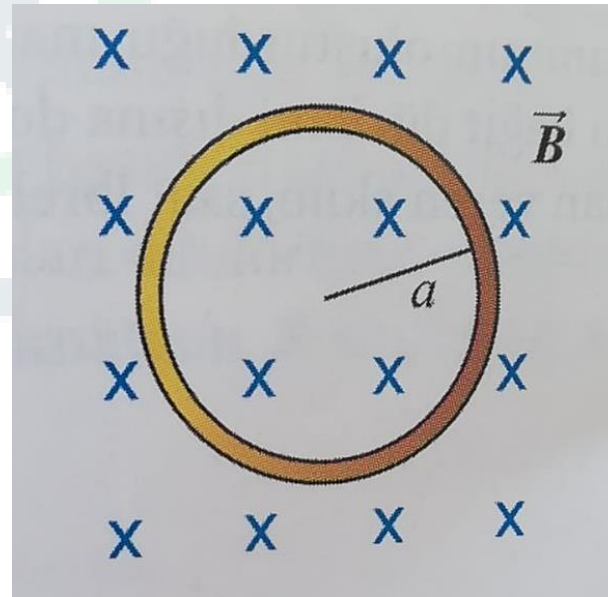
(a) Mıknatıs yaklaşırken, çerçeveden geçen manyetik akı artmakta. Çerçevedeki akımın  $B'$  manyetik alanı, bu artışa karşı koyacak yönde olmalı ki artan akıyı azaltabilsin. ▼ Sağ-el kuralına göre,  $I'$  akımı gösterilen yönde olmalıdır. Mıknatıs uzaklaşırken tersi olur. ▼



(b) Bataryaya bağlı çerçevedeki  $I$  akımı artıyorsa, onun  $B$  manyetik alanına karşı koyacak yönde  $B'$  alanı oluşmalıdır. ▼ O halde, ikinci çerçevede ters yönde  $I'$  akımı oluşur.  $I$  akımı azalırken tersi olur.

**ÖRNEK:** Şekilde direnci  $R=1 \, \Omega$  olan iletken çember, kağıt düzlemi içine yönelik bir  $B$  manyetik alanı içinde bulunmaktadır.

- Çemberin yarıçapı  $a=3 \, \text{m}$  sabit değerinde iken, manyetik alan  $B=0,1 \, \text{T}$  şeklinde artmaya başlıyor. Çerçeve içinde oluşan indüksiyon akımının ve yönünü tayin edin.
- Manyetik alan  $B=0.1 \, \text{T}$  değerinde sabit iken çemberin yarıçapı  $a=3t$  (metre) şeklinde artmaya başlıyor.  $T=1 \, \text{s}$  anındaki akımını ve yönünü bulun.



a) Faraday yasasını yazalım:

- $\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt}$
- Buradaki  $\Phi$  manyetik akısı hesaplanır. B sabit ve yüzey normaline paralel olduğundan,
- $\Phi = B A \cos\theta^\circ = \pi a^2 B$
- Manyetik alan  $B=0.1t$  şeklinde zamanın fonksiyonu olarak yazılır ve türev alınır:
- $\varepsilon = \frac{d[\pi a^2(0.1t)]}{dt} = 0.1\pi a^2$

- Bu emk ile devrede oluşan akım Ohm yasasıyla bulunur:

$$• I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{0.1\pi a^2}{R} = 0.1 \times 3.14 \times \frac{3^2}{1} = 2.8 \text{ A}$$

- Akımın yönü manyetik artışa koyacak yönde olmalı, yani kendi  $B'$  manyetik alanı kağıt düzlemi dışına doğru olmalıdır. Sağ el kuralına göre, çerçevedeki akım saat ibrelerinin tersi yönde dolanmalıdır.

- b) Bu kez manyetik akıdaki değişme, A kesitindeki artıştan kaynaklanır:

- $\Phi = BA = B(\pi a^2) = \pi B(3t)^2$

- İndüksiyon emk sı Faraday formülüyle hesaplanır:

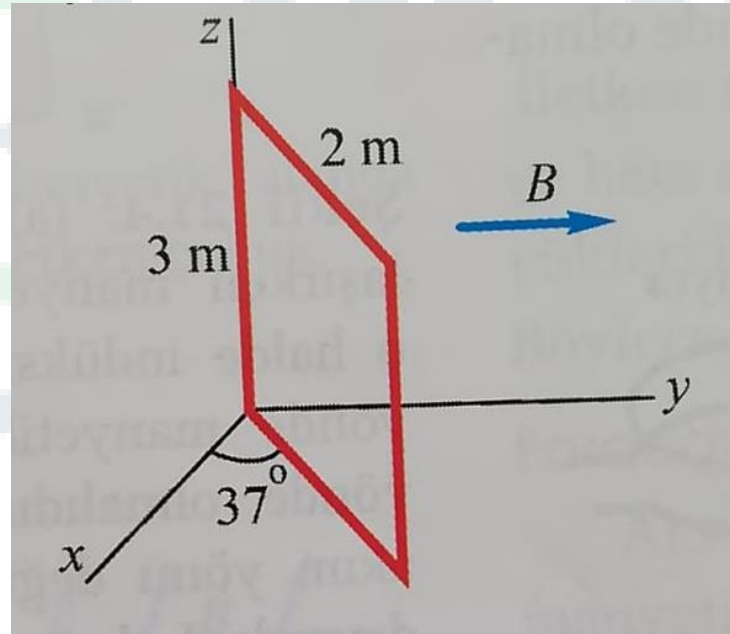
- $\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} = \frac{9\pi Bt^2}{dt} = 18\pi Bt$

- Bu emk ile, t=1 s anında devrede oluşan akım Ohm yasasıyla bulunur:

- $I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{18\pi Bt}{R} = 18 \times 3.14 \times 0.1 \times \frac{1}{1} = 5.7 \text{ A}$

- Yine Lenz kuralına göre akım, saat ibrelerinin tersi yönde olur.

**ÖRNEK:** Şekilde boyutları verilen dikdörtgen çerçeve, +y yönündeki  $B=1$  T lık düzgün manyetik alan içinde bulunmaktadır. Çerçeve düzlemi x-ekseniyle  $37^\circ$  açı yapmaktadır. Manyetik alan şiddeti 0.3 s süre içinde sıfıra iniyor. Çerçevede oluşan akımı ve yönünü hesaplayın. Çerçevenin direnci  $R=4\Omega$  dır.



- Bir A yüzeyinden geçen manyetik akının ifadesi yazılır:
- $\Phi = BA\cos\theta$
- Burada  $\theta$ , manyetik alanın yüzey normali ile yaptığı açıdır. Şekilden görüldüğü üzere,  $\vec{B}$  nin çerçeve düzlemiyle yaptığı açı  $53^\circ$  ve dolayısıyla, yüzeye dik olan normalle yaptığı açı  $\theta = 37^\circ$  olur. O halde, başlangıçtaki manyetik akı hesaplanır:
- $\Phi = 1 \times (2 \times 3) \times \cos 37^\circ = 0.48$
- Faraday yasası uygulanır:
- $\varepsilon = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{0.48}{0.3} = 1.6 \text{ Volt}$

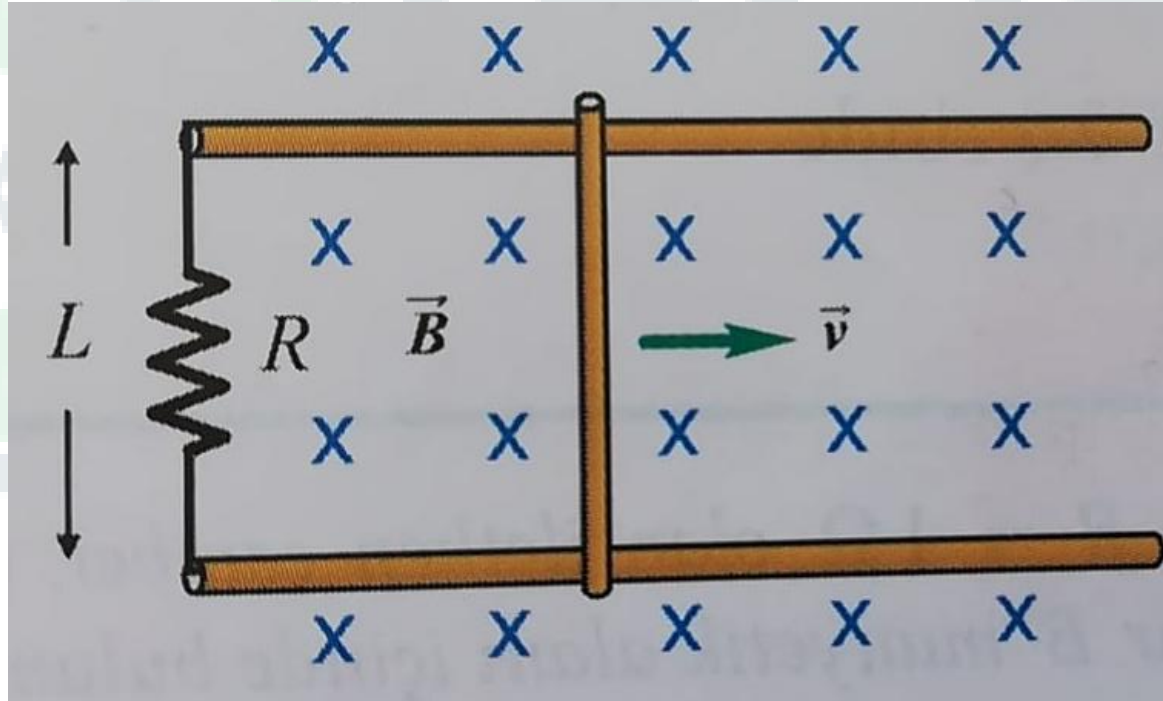
- Bu emk nın devrede oluşturduğu akım Ohm yasasıyla bulunur:

- $I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{1.6}{4} = 0.4 \text{ A}$

- Manyetik akı azaldığı için, Lenz kuralına göre, çerçevede oluşan manyetik alanın yönü,  $\vec{B}$  deki azalmayı engelleyici yönde, yani onunla aynı yönde olmalıdır. O halde, akım, öndeki kenarda aşağı yönde olur.



**ÖRNEK:** Şekildeki dikdörtgen çerçevenin direnci  $R=2 \, \Omega$  olup kağıt içine doğru olan  $B=0.2 \, \text{T}$  lık manyetik alan içinde bulunmaktadır. Çerçevenin  $L=50 \, \text{cm}$  uzunluktaki kenarı sabit  $v=4 \, \text{m/s}$  hızıyla sağa doğru çekilmektedir. Çerçevede oluşan indüksiyon akımını ve yönünü bulun.



- Bu problemde çerçeveden geçen manyetik akıdaki değişim, çerçeve yüzölçümünün değişmesinden kaynaklanır. Dikdörtgen çerçevenin  $L$  uzunluktaki kenarı sabit, diğer kenar uzunluğu  $x=vt$  olarak değişmektedir. Manyetik akıyı yazalım:

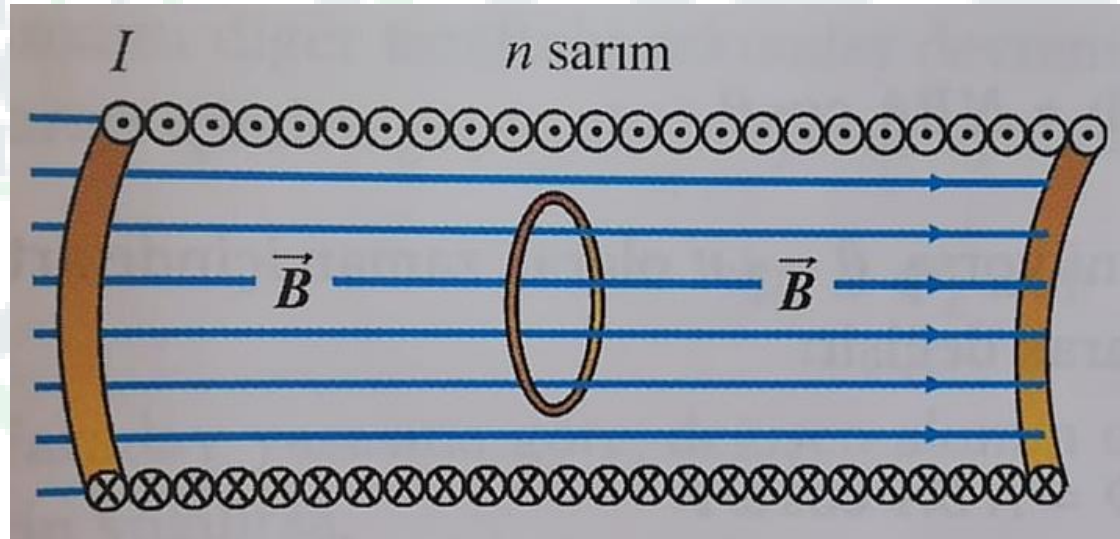
- $\Phi = BA = BL(vt)$

- Bu ifadenin  $t$  zamanına göre türevi alınır ve bulunan emk değerinden Ohm yasasıyla akım hesaplanır:

- $$I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{1}{R} \frac{d(BLv t)}{dt} = \frac{BLv}{R} = \frac{0.2 \times 0.5 \times 4}{2} = 0.2 \text{ A}$$

- Çerçeveden geçen manyetik akı artmaktadır. O halde, oluşan indüksiyon akımının oluşturduğu manyetik alan bunu azaltıcı yönde, yani kağıt düzlemi dışına doğru olmalıdır. Bu yönde manyetik alan veren akım, saat ibreleri tersi yönünde dolanmalıdır.

**ÖRNEK:** Şekildeki solenoidin birim uzunlukdaki sarım sayısı  $n=500$  sarım/metre olup, üzerinden geçen akım  $I=5e^{-t}$  Ampere olarak zamanla değişmektedir. Solenoid hacmi içine konulan  $a=50$  cm yarıçaplı iletken bir çemberin direnci  $R=1 \Omega$  dır. Çemberden  $t=0$  s anında geçen akımı ve yönünü tayin edin.



- Solenoid hacmi içinde manyetik alan düzgün olarak dağılmış ve
- $B = \mu_0 n I$  ifadesiyle verilmiştir.
- Yarıçapı  $a$  olan çember içinden geçen manyetik akı yazılır:
- $\Phi = BA = \mu_0 n I (\pi a^2) = \mu_0 n \pi a^2 I$
- Faraday yasasına göre, akıdaki değişme indüksiyon emk sı olarak bulunur:
- $I$  akımı üstel fonksiyon olarak azalmaktadır. Türevi yine kendisi olur :
- $\frac{dI}{dt} = \frac{d}{dt} (5e^{-t}) = -5e^{-t}$

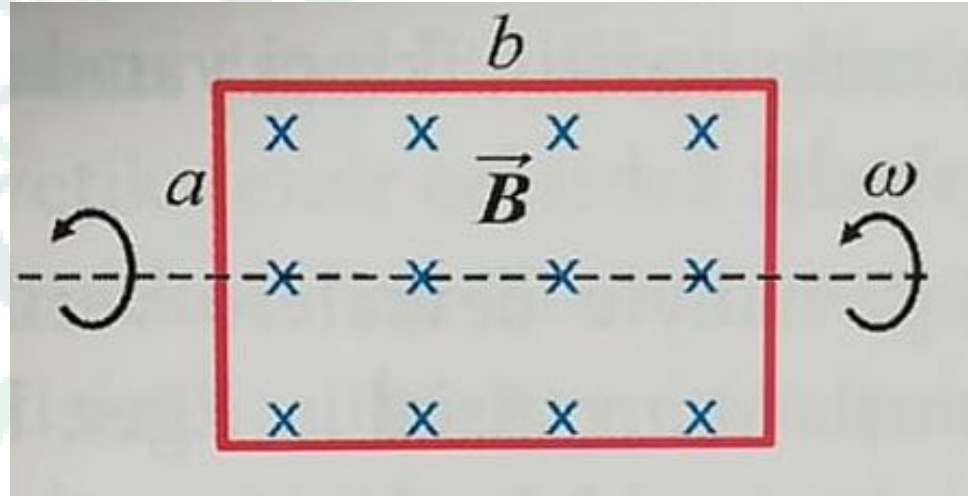
- Bu türevin  $t=0$  s anındaki değeri  $I=5$  A olur (- işaretleri göz önüne almıyoruz). Bu değer yerine konulur ve indüksiyon emkısının çemberde oluşturduğu  $I'$  akımını hesaplanır:

- $$I' = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{\mu_0 n \pi a^2}{R} \left| \frac{dI}{dt} \right|_{t=0}$$

- $$I' = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 500 \times \pi \times 0.5^2 \times 5}{1} = 0.0025 \text{ A} = 2.5 \text{ mA}$$

- Bu  $I'$  akımının yönü, solenoid içindeki manyetik alandaki azalmayı telafi edecek yönde, yani  $I$  akımıyla aynı yönde olmalıdır.

**ÖRNEK:** Şekildeki kağıt düzlemi içine doğru, düzgün  $B=0.1$  T lık manyetik alan içinde, boyutları  $a=1$  m ve  $b=2$  m olan dikdörtgen çerçeve, eksen etrafında  $\omega=3$  rad/s açısal hızı ile dönmektedir. Direnci  $R=1 \Omega$  olan çerçevede oluşan akımı  $t$  zamanının bir fonksiyonu olarak hesaplayın.



- Çerçeveden geçen manyetik akı formülü kullanılır:
- $\Phi = BA \cos \theta$
- Burada B ve A sabit, fakat  $\theta$  açısı,  $\omega$  açısal hızına bağlı olarak,  $\theta = \omega t$  şeklinde değişmektedir. Faraday yasası ile indüksiyon emk ifadesi bulunur:
- $\varepsilon = \frac{d\Phi}{dt} = BA \frac{d(\cos \omega t)}{dt} = -\omega BA \sin \omega t$
- Eksi işareti göz önüne almadan, Ohm yasası ile akım bulunur:
- $I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{\omega BA}{R} \sin \omega t$
- Sayısal değerler yerine konulur:
- $I = \frac{3 \times 0.1 \times (1 \times 2)}{1} \sin 3t = 0.6 \sin 3t$



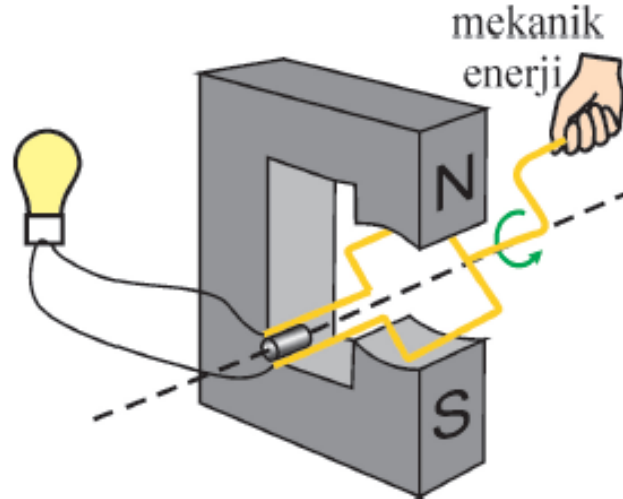
# JENERATÖR VE TRANSFORMATÖRLER



## Jeneratör

Hareket enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren alet. ▼

Hidroelektrik santral	→	suyun potansiyel enerjisi	} → türbinin dönme hareketi
Termik santral	→	Yanma enerjisi	
Nükleer santral	→	Nükleer enerji	



Dikdörtgen çerçeve mıknatısın kutupları arasında döndürüldüğünde, çerçeveden geçen manyetik akı  $\theta$  açısıyla değişmekte.

A kesitli ve  $N$  sarımlı çerçeve, mıknatısın kutupları arasında dönüyor.

$N$  tane sarım için manyetik akı:

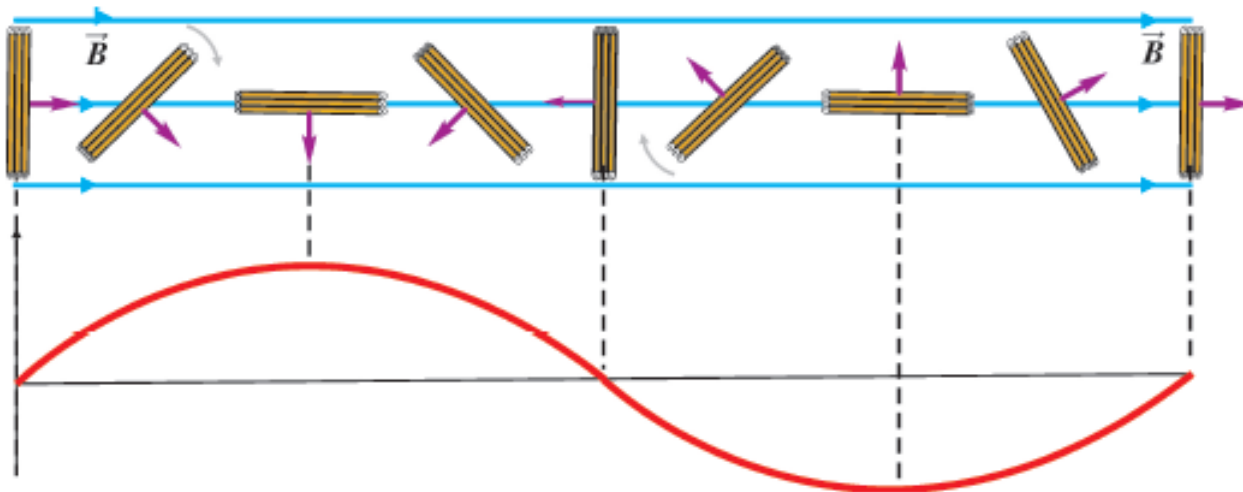
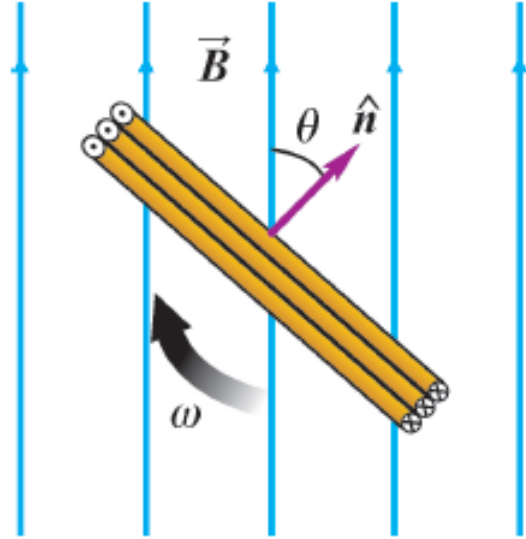
$$\Phi = NBA \cos \theta$$

Dönme hızı  $\omega$  sabit ise ( $\theta = \omega t$ ):

$$\Phi = NBA \cos \omega t$$

Faraday yasası uygulanır:

$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi}{dt} = NBA\omega \sin \omega t$$



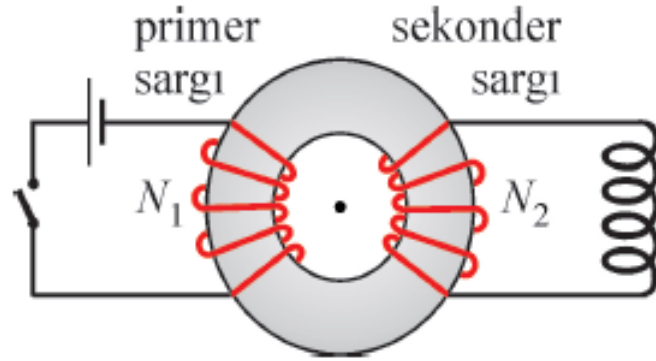
→ Alternatif akım

## Transformatör

Elektrik iletiminde ısı kayıpları:  $W = RI^2 \rightarrow$  Akımın karesiyle orantılı.

O halde, düşük akım/yüksek voltajda iletmek gerekir.

Voltaj düşüren/yükselten düzeneğe **transformatör** denir. ▼



Ferromanyetik malzemeden yapılmış bir halka (çekirdek) üzerinde iki devre.

**Primer** denilen birinci devrede  $N_1$  sarım.

**Sekonder** denilen ikinci devrede  $N_2$  sarım.

Primer devreden geçen akım  $I_1$  olsun. ▼

$I_1$  akımının manyetik alanı ferromanyetik çekirdek içinde yoğunlaşır.

Dolayısıyla, tüm akı sekonder devrenin de içinden geçer:

$$\Phi_1 = \Phi_2 = \Phi$$

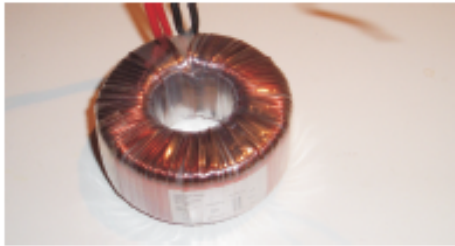
Faraday yasası her iki devre için yazılır:

$$\mathcal{E}_1 = N_1 \frac{d\Phi_1}{dt} \quad \mathcal{E}_2 = N_2 \frac{d\Phi_2}{dt}$$

Her  $t$  anında  $\Phi_1 = \Phi_2$  olduğundan, türevleri de eşit:  $\frac{\mathcal{E}_1}{N_1} = \frac{\mathcal{E}_2}{N_2}$

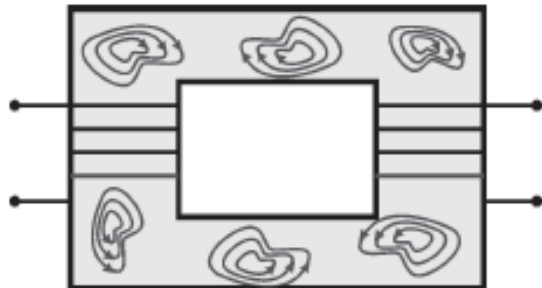
Sonuç: Sekonder devrede sarım sayısı arttıkça  $\mathcal{E}_2$  voltajı da artar. ▼

Gerçek bir transformatörde enerji kayıpları olur: ▼



- Manyetik akı tümüyle ferromanyetik çekirdek içinde yer almaz, manyetik akı kaybolur.

Bunu önlemek için transformatörler sıkı sarılır. ▼



- Transformatör çalışırken, ferromanyetik demir çekirdek içinde rasgele yönlerde **girdap akımları** oluşur ve enerji harcarlar.

Girdap akımlarının etkisini azaltmak için, çok sayıda demir yaprağından deste yapılır.

**ÖRNEK:** Bir jeneratörün dönen bobini, her birinin kesiti  $20 \text{ cm}^2$  olan  $N$  sarımdan yapılmış olup,  $0.5 \text{ T}$  alıp manyetik alan içinde  $6000 \text{ dev/dk}$  açısal hızıyla dönebilmektedirler. Jeneratörün ürettiği maksimum voltajın  $12 \text{ V}$  olabilmesi için en az kaç sarım gereklidir?

- Jeneratörün ürettiği emk y1 bulmak için formülünü kullanırız:
- $\varepsilon = NBA\omega \sin\omega t$
- Bu sinüsel voltajın maksimum değerinden N sarım sayısı hesaplanır:
- $$N = \frac{\varepsilon}{BA\omega} = \frac{12}{0.5 \times 0.0020 \times (6000 \times 2\pi / 60)} = 19.1$$
- Bunu tam sayıya çevirirsek, gerekli sarım sayısı N=20 olur.

**ÖRNEK:** Bir transformatörün primer devresinde 200 sarım, sekonder devresinde 50 sarım bulunmaktadır. Transformatöre giren 240 volt ve 20 amperlik akım çıkışta ne olur ?



- Transformatörde giriş ve çıkış voltajları arasındaki ilişki
- $\varepsilon_2 = \frac{N_2}{N_1} \varepsilon_1$  formülüyle bulunur.
- Bu formülden çıkış voltajı hesaplanır:
- $\varepsilon_2 = \frac{50}{200} \times 240 = 60 \text{ V}$
- İdael bir transformatörde güç kaybı olmadığını düşünürsek, giriş ve çıkıştaki güçler eşittir:
- $\varepsilon_1 I_1 = \varepsilon_2 I_2 \quad 240 \times 20 = 60 \times I_2 = 80 \text{ A}$
- Buradan çıkış akımı  $I_2 = 80 \text{ A}$  bulunur.



**ÖRNEK: İletim hatlarında güç kaybı.** Bir barajda üretilen 1 MW (megavat) güç, yakındaki bir şehre iki farklı şekilde iletiliyor.

- a) Bu güç 5000 V=5 kV luk voltajla iletildiğinde, hattın 1  $\Omega$  dirençli kısmında ısıya dönüşen güç ne kadar olur?
- b) Aynı güç, önce bir transformatörle voltajı 500 000 V=500 kV değerine çıkarılıp iletildiğinde, hattın 1  $\Omega$  dirençli kısmında ısıya dönüşen güç ne kadar olur?

a) En genel güç formülü  $P = VI$  olarak bulunmuştu.

- Ayrıca, R direnci üzerinde ısıya dönüşen güç formülü,
- $P' = RI^2$  oluyordu.
- Buna göre, üretilen P gücü  $V_1$  voltajı altında gönderildiğinde, oluşan akım bulunur:
- $I_1 = \frac{P}{V_1} = \frac{10^6}{5000} = 200 \text{ A}$
- Bu akımla R direnci üzerinde ısıya dönüşen güç hesaplanır:
- $P'_1 = RI_1^2 = 1 \times 200^2 = 40\,000 \text{ W} = 40 \text{ kW}$

a) Aynı hesap  $V_2 5 \text{ MV}$  voltajla tekrar edilir:

- $I_2 = \frac{P}{V_2} = \frac{10^6}{5 \times 10^5} = 2 \text{ A}$

- Bu akımla  $R$  direnci üzerinde ısıya dönüşen güç hesaplanır:

- $P'_2 = RI_2^2 = 1 \times 2^2 = 4 \text{ W}$

- Görüldüğü gibi, yüksek voltajla iletimde güç kaybı daha az olur.

# TEŞEKKÜR EDERİM

KOCAELİ SAĞLIK  
VE TEKNOLOJİ  
ÜNİVERSİTESİ  
— 2009 —