

1 21. FARADAY YASASI – İNDÜKSİYON

- 21.1 Faraday Yasası
- 21.2 Jeneratör ve Transformatörler
- 21.3 İndüktans – Manyetik Enerji
- 21.4 RLC Devreleri

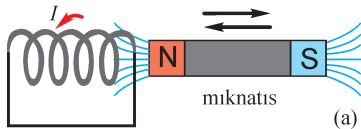


Daha iyi sonuç almak için, Adobe Reader programının **Tam Ekran** modunda çalışınız.

Tam Ekran modunda: Sayfa çevirmek için, farenin sol/sağ tuşlarını veya PageUp/PageDown tuşlarını kullanınız.

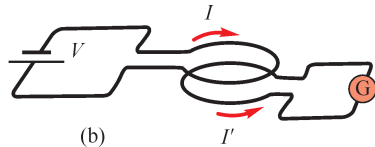
20.1 FARADAY YASASI

Deneysel gözlemler:



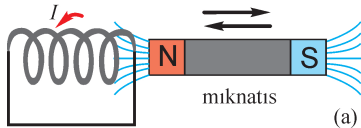
(a) Mıknatıs çubuğu iletken çerçeveye yaklaştırdığımızda, çerçevede bir akım oluşur.

Mıknatıs çubuk hareket etmezse çerçevede akım oluşmaz. ▼



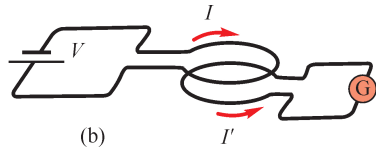
20.1 FARADAY YASASI

Deneysel gözlemler:



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

Mıknatıs çubuk hareket etmezse çerçevede akım oluşmaz. ▼

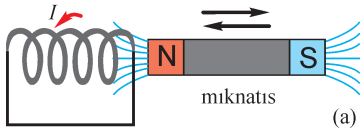


(b) Bataryaya bağlı 1. çerçevede anahtar kapatılıp akım başlatıldığında, bataryasız 2. çerçevede akım oluşur.

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

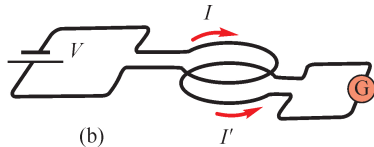
20.1 FARADAY YASASI

Deneysel gözlemler:



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

Mıknatis çubuk hareket etmezse çerçevede akım oluşmaz. ▼

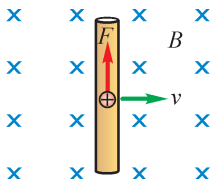


(b) Bataryaya bağlı 1. çerçevede anahtar kapatılıp akım başlatıldığında, bataryasız 2. çerçevede akım oluşur.

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.

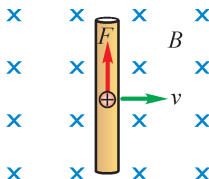
Bu etkiyi anlatan basit bir deney:



Manyetik alana dik bir düzlemde iletken bir çubuk.

Çubuğu \vec{v} hızıyla hareket ettirelim. ▼

Bu etkiyi anlatan basit bir deney:



Manyetik alana dik bir düzlemde iletken bir çubuk.

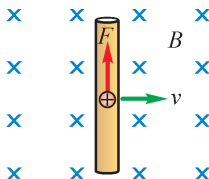
Çubuğu \vec{v} hızıyla hareket ettirelim. ▼

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. ▼

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:

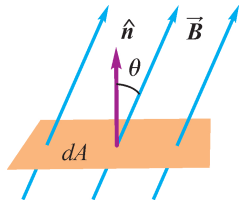
$$\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$$

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:

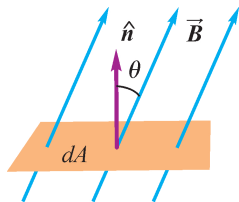


Bir A yüzeyini dik kesen manyetik alan çizgileri sayısıdır:

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

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

Manyetik akı:



Bir A yüzeyini dik kesen manyetik alan çizgileri sayısıdır:

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

θ 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:

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



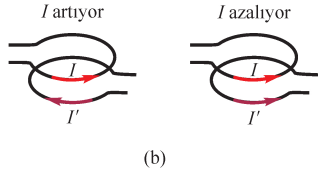
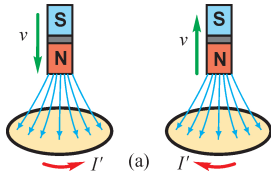
Eksi işaretinin anlamı **Lenz kuralı** ile açıklanır.

Lenz Kuralı

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

Lenz Kuralı

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

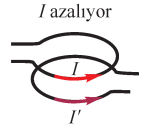
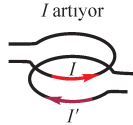
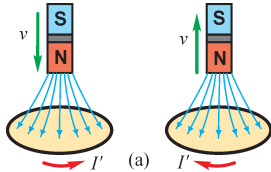


(a) Mıknatıs yaklaşırken, çerçeveden geçen manyetik akı artmakta.

Çerçevedeki akımın B' manyetik alanı, bu artışa karşı koyacak yönde olmalı ki artan akıyı azaltabilsin. ▼

Lenz Kuralı

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



(b)

(a) Mıknatıs yaklaşırken, çerçeveden geçen manyetik akı artmakta.

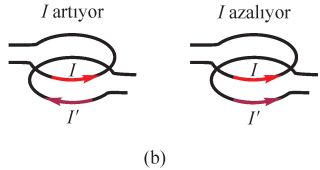
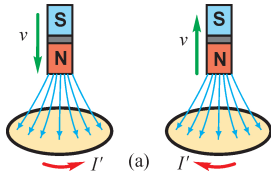
Çerçevedeki akımın B' manyetik alanı, bu artışa karşı koyacak yönde olmalı ki artan akıyı azaltabilsin. ▼

Sağ-el kuralına göre, I' akımı gösterilen yönde olmalıdır.

Mıknatıs uzaklaşırken tersi olur. ▼

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. ▼

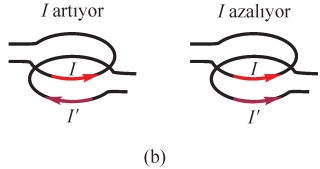
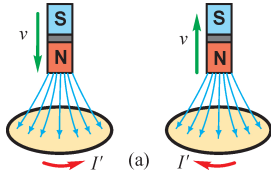
Sağ-el kuralına göre, I' akımı gösterilen yönde olmalıdır.

Mıknatıs uzaklaşırken tersi olur. ▼

(b) Bataryaya bağlı çerçevedeki I akımı artıyorsa, onun B manyetik alanına karşı koyacak yönde B' alanı oluşmalıdır. ▼

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.

21.2 JENERATÖR VE TRANSFORMATÖRLER

Jeneratör

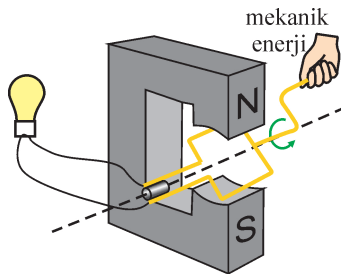
Hareket enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren alet. ▼

21.2 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	

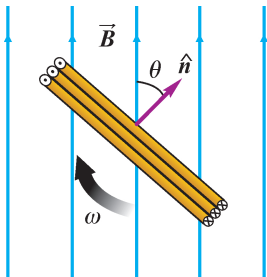


Dikdörtgen çerçeve mıknatısın kutupları arasında döndürüldüğünde, çerçeveden geçen manyetik akı θ açısıyla değişmekte.

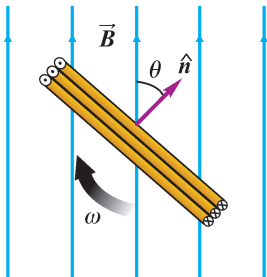
A kesitli ve N sarımlı çerçeve, mıknatısın kutupları arasında dönüyor.

N tane sarım için manyetik akı:

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



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



N tane sarım için manyetik akı:

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

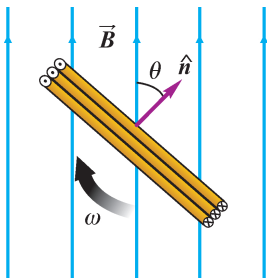
Dönme hızı ω sabit ise ($\theta = \omega t$):

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

Faraday yasası uygulanır:

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

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



N tane sarım için manyetik akı:

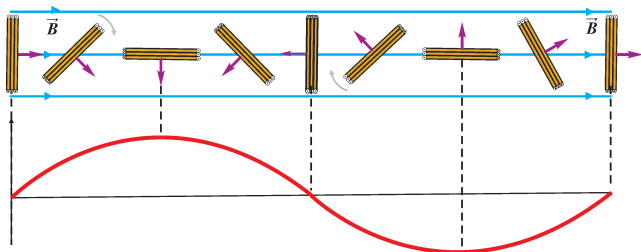
$$\Phi = NBA \cos \theta$$

Dönme hızı ω 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: $W = R I^2 \rightarrow$ Akımın karesiyle orantılı.

O halde, düşük akım/yüksek voltajda iletmek gerekir.

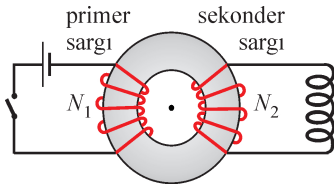
Voltaj düşüren/yükselten düzeneğe **transformatör** denir. ▼

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.

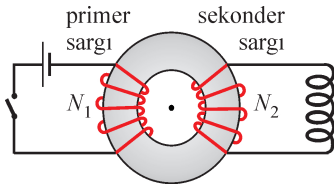
Primer devreden geçen akım I_1 olsun. ▼

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:

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

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. ▼

Faraday yasası her iki devre için yazılır:

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

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: ▼

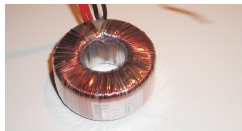
Faraday yasası her iki devre için yazılır:

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

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. ▼

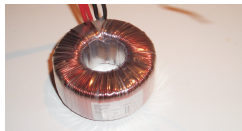
Faraday yasası her iki devre için yazılır:

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

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

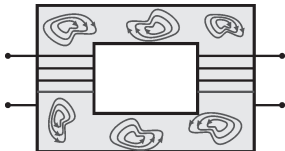
Sonuç: Sekonder devrede sarım sayısı arttıkça \mathcal{E}_2 voltajı da artar. ▼

Gerçek bir transformatörde enerji kayıpları olur: ▼



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

Bunu önlemek için transformatörler sıkı sarılır. ▼

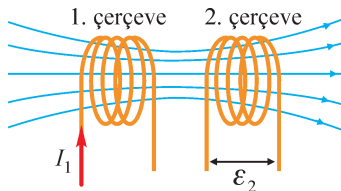


- Transformatör çalışırken, ferromanyetik demir çekirdek içinde rasgele yönlerde **girdap akımları** oluşur ve enerji harcarlar.

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

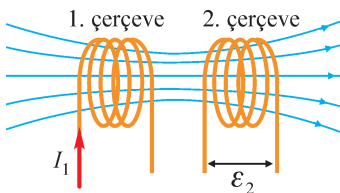
21.3 İNDÜKTANS – MANYETİK ENERJİ

Birbirlerine çok yakın iki akım çerçevesi.



21.3 İNDÜKTANS – MANYETİK ENERJİ

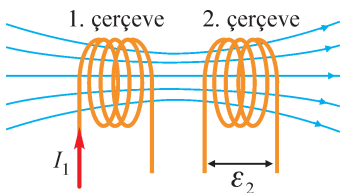
Birbirlerine çok yakın iki akım çerçevesi.



1. çerçevedeki I_1 akımının manyetik alanın
2. çerçeveden geçen kısmı Φ_2 olsun. ▼

21.3 İNDÜKTANS – MANYETİK ENERJİ

Birbirlerine çok yakın iki akım çerçevesi.



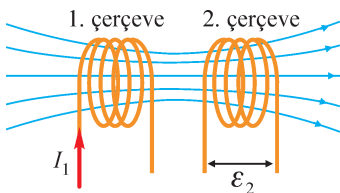
1. çerçevedeki I_1 akımının manyetik alanın
2. çerçeveden geçen kısmı Φ_2 olsun. ▼

I_1 akımı değiştiğinde Φ_2 akısı da değişir ve 2. çerçevede ϵ_2 emk oluşur (Faraday):

$$\epsilon_2 = -\frac{d\Phi_2}{dt}$$

21.3 İNDÜKTANS – MANYETİK ENERJİ

Birbirlerine çok yakın iki akım çerçevesi.



1. çerçevedeki I_1 akımının manyetik alanın
2. çerçeveden geçen kısmı Φ_2 olsun. ▼

I_1 akımı değiştiğinde Φ_2 akısı da değişir ve 2. çerçevede \mathcal{E}_2 emk oluşur (Faraday):

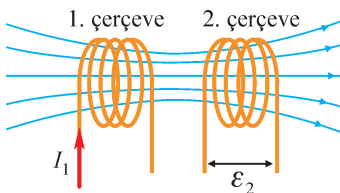
$$\mathcal{E}_2 = -\frac{d\Phi_2}{dt}$$

Eğer çerçevelerin geometrik şekilleri ve konumları sabitse, oluşan manyetik akı sadece I_1 akımıyla orantılı olacaktır:

$$\Phi_2 = M_{21} I_1 \quad (\text{Karşılıklı indüktans}) \quad \blacktriangledown$$

21.3 İNDÜKTANS – MANYETİK ENERJİ

Birbirlerine çok yakın iki akım çerçevesi.



1. çerçevedeki I_1 akımının manyetik alanın
2. çerçeveden geçen kısmı Φ_2 olsun. ▼

- I_1 akımı değiştiğinde Φ_2 akısı da değişir ve
2. çerçevede \mathcal{E}_2 emk oluşur (Faraday):

$$\mathcal{E}_2 = -\frac{d\Phi_2}{dt}$$

Eğer çerçevelerin geometrik şekilleri ve konumları sabitse, oluşan manyetik akı sadece I_1 akımıyla orantılı olacaktır:

$$\Phi_2 = M_{21} I_1 \quad (\text{Karşılıklı indüktans}) \quad ▼$$

O halde, 2. devrede oluşan emk değerini I_1 cinsinden yazabiliriz:

$$\mathcal{E}_2 = -M_{21} \frac{dI_1}{dt}$$

Aynı düşünce yöntemi 2. çerçevenin birinciye etkisi için yürütülebilir:

$$\mathcal{E}_1 = -M_{12} \frac{dI_2}{dt} \quad \blacktriangledown$$

Aynı düşünce yöntemi 2. çerçevenin birinciye etkisi için yürütülebilir:

$$\mathcal{E}_1 = -M_{12} \frac{dI_2}{dt} \quad \blacktriangledown$$

M_{21} ve M_{12} katsayıları birbirine eşittir (ispat zor):

$$M_{21} = M_{12} = M$$

Karşılıklı indüktans (M) : Devrelerin tüm sabitlerini (geometrik yapı, sarım sayısı, ortamın μ geçirgenliği...) içinde barındıran katsayı.

Önemli not: N sarımlı çerçeve için, formüllerde Φ yerine $N\Phi$ alınmalıdır. \blacktriangledown

Aynı düşünce yöntemi 2. çerçevenin birinciye etkisi için yürütülebilir:

$$\mathcal{E}_1 = -M_{12} \frac{dI_2}{dt} \quad \blacktriangledown$$

M_{21} ve M_{12} katsayıları birbirine eşittir (ispat zor):

$$M_{21} = M_{12} = M$$

Karşılıklı indüktans (M) : Devrelerin tüm sabitlerini (geometrik yapı, sarım sayısı, ortamın μ geçirgenliği...) içinde barındıran katsayı.

Önemli not: N sarımlı çerçeve için, formüllerde Φ yerine $N\Phi$ alınmalıdır. \blacktriangledown

Böylece emk, Φ akısı yerine akım cinsinden ifade edilmiş olur:

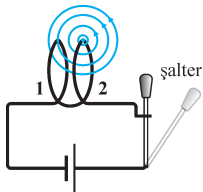
$$\mathcal{E} = M \frac{dI_1}{dt}$$

Özindüktans

Tek çerçeve de, üzerindeki akımdaki değişime karşı koyan bir emk üretir. ▼

Özindüktans

Tek çerçeve de, üzerindeki akımdaki değişime karşı koyan bir emk üretir. ▼



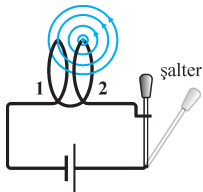
Sadece 2 sarımlı bir çerçeve.

Şalter kapalıyken geçen akım ve manyetik alan sabit.

2. sarımın manyetik akısı 1. sarımdan da geçmekte. ▼

Özindüktans

Tek çerçeve de, üzerindeki akımdaki değişime karşı koyan bir emk üretir. ▼



Sadece 2 sarımlı bir çerçeve.

Şalter kapalıyken geçen akım ve manyetik alan sabit.

2. sarımın manyetik akısı 1. sarımdan da geçmekte. ▼

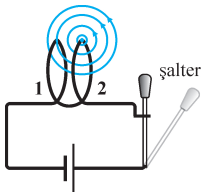
Şalteri açıp akımı keselim.

Akım kısa sürede azalırken, 1. sarımdaki manyetik akı da azalır ve dolayısıyla, bu azalmaya karşı koyan bir zıt emk oluşur.

Çerçeveden geçen manyetik akı I akımıyla orantılı yazılır: $\Phi = L I$ ▼

Özindüktans

Tek çerçeve de, üzerindeki akımdaki değişime karşı koyan bir emk üretir. ▼



Sadece 2 sarımlı bir çerçeve.

Şalter kapalıyken geçen akım ve manyetik alan sabit.

2. sarımın manyetik akısı 1. sarımdan da geçmekte. ▼

Şalteri açıp akımı keselim.

Akım kısa sürede azalırken, 1. sarımdaki manyetik akı da azalır ve dolayısıyla, bu azalmaya karşı koyan bir zıt emk oluşur.

Çerçeveden geçen manyetik akı I akımıyla orantılı yazılır: $\Phi = LI$ ▼

Böylece, devrede oluşan zıt emk, sadece akımdaki değişimle orantılı olur:

$$\mathcal{E} = L \frac{dI}{dt}$$

L sabitine **özindüktans**, devre elemanı olan sarıma da **bobin** denir.

Manyetik Enerji

Hatırlatma: Elektrik devrelerinde en genel güç ifadesi: $P = V I$ ▼

Manyetik Enerji

Hatırlatma: Elektrik devrelerinde en genel güç ifadesi: $P = V I$ ▼

I akımı geçen bobinin uçları arasındaki voltaj ve güç:

$$V = L \frac{dI}{dt} \quad \longrightarrow \quad P = L I \frac{dI}{dt} \quad \blacktriangledown$$

Manyetik Enerji

Hatırlatma: Elektrik devrelerinde en genel güç ifadesi: $P = V I$ ▼

I akımı geçen bobinin uçları arasındaki voltaj ve güç:

$$V = L \frac{dI}{dt} \quad \longrightarrow \quad P = L I \frac{dI}{dt} \quad \blacktriangledown$$

dt zaman aralığında bobinde yapılan iş, potansiyel enerjideki artış olur:

$$dU = dW = P dt = L I \cancel{\frac{dI}{dt}} \cancel{dt} \quad \longrightarrow \quad dU = L I dI \quad \blacktriangledown$$

Manyetik Enerji

Hatırlatma: Elektrik devrelerinde en genel güç ifadesi: $P = V I$ ▼

I akımı geçen bobinin uçları arasındaki voltaj ve güç:

$$V = L \frac{dI}{dt} \quad \longrightarrow \quad P = L I \frac{dI}{dt} \quad \blacktriangledown$$

dt zaman aralığında bobinde yapılan iş, potansiyel enerjideki artış olur:

$$dU = dW = P dt = L I \frac{dI}{dt} dt \quad \longrightarrow \quad dU = L I dI \quad \blacktriangledown$$





Akım sıfırdan son I değerine ulaşırken, bobinde depolanan manyetik enerji, bu ifadenin integrali olur:

$$U = L \int_0^I I dI = \frac{1}{2} L I^2 \quad (\text{Bobinin manyetik enerjisi})$$

Bu manyetik enerji bobinde depolanır ve sonra devreye geri verilebilir.





21.4 RLC DEVRELERİ (Kısa bilgi)

Buraya kadar gördüğümüz devre elemanlarını hatırlayalım:

Direnç :	R		$V_{ab} = RI$
Kondansatör :	C		$V_{ab} = \frac{q}{C}$
Bobin :	L		$V_{ab} = L \frac{dI}{dt}$
EMK :	\mathcal{E}		$V_{ab} = \mathcal{E} \blacktriangledown$

21.4 RLC DEVRELERİ (Kısa bilgi)

Buraya kadar gördüğümüz devre elemanlarını hatırlayalım:





Direnç :	R		$V_{ab} = RI$
Kondansatör :	C		$V_{ab} = \frac{q}{C}$
Bobin :	L		$V_{ab} = L \frac{dI}{dt}$
EMK :	\mathcal{E}		$V_{ab} = \mathcal{E} \blacktriangledown$

Doğru akım (DC) devresinde L ve C bulunmaz.

(Kondansatör üzerinden akım geçmez, bobin sabit akıma tepki vermez.) \blacktriangledown

21.4 RLC DEVRELERİ (Kısa bilgi)

Buraya kadar gördüğümüz devre elemanlarını hatırlayalım:

Direnç :	R		$V_{ab} = RI$
Kondansatör :	C		$V_{ab} = \frac{q}{C}$
Bobin :	L		$V_{ab} = L \frac{dI}{dt}$
EMK :	\mathcal{E}		$V_{ab} = \mathcal{E} \blacktriangledown$

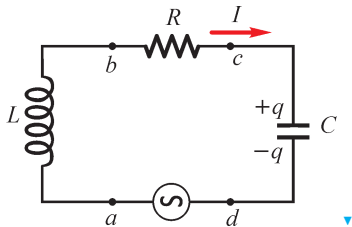
Doğru akım (DC) devresinde L ve C bulunmaz.

(Kondansatör üzerinden akım geçmez, bobin sabit akıma tepki vermez.) \blacktriangledown

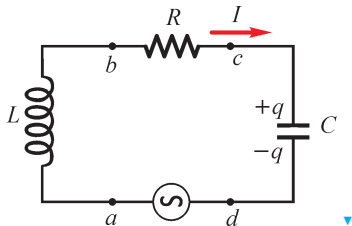
AC devreleri çok geniş bir konudur.

Burada sadece giriş yapılacaktır.

Bir emk kaynağına seri olarak bağlanmış L , R , C devre elemanları.



Bir emk kaynağına seri olarak bağlanmış L , R , C devre elemanları.

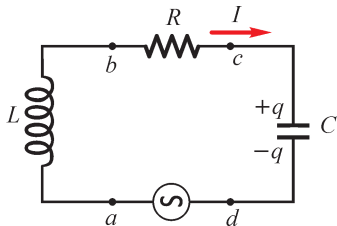


Üretcin artı ucundan giderek, her bir eleman üzerindeki potansiyel farkları toplanır:

$$V_{ad} = V_{ab} + V_{bc} + V_{cd}$$

$$\mathcal{E} = L \frac{dI}{dt} + RI + \frac{q}{C} \quad \blacktriangledown$$

Bir emk kaynağına seri olarak bağlanmış L , R , C devre elemanları.



Üretcin artı ucundan giderek, herbir eleman üzerindeki potansiyel farkları toplanır:

$$V_{ad} = V_{ab} + V_{bc} + V_{cd}$$

$$\mathcal{E} = L \frac{dI}{dt} + RI + \frac{q}{C} \quad \blacktriangledown$$

Denklemin türevi alınır ve $dq/dt = I$ akımı yerine konur:

$$\frac{d\mathcal{E}}{dt} = L \frac{d^2I}{dt^2} + R \frac{dI}{dt} + \frac{1}{C} \underbrace{\frac{dq}{dt}}_I$$

$$LI'' + RI' + \frac{1}{C} I = \frac{d\mathcal{E}}{dt}$$

Bilinmeyen $I(t)$ akımını veren bir diferansiyel denklem. Sağ taraftaki emk fonksiyonu $\mathcal{E}(t)$ verilmişse, bu denklem çözülerek akım bulunur.

***** 21. Bölümün Sonu *****