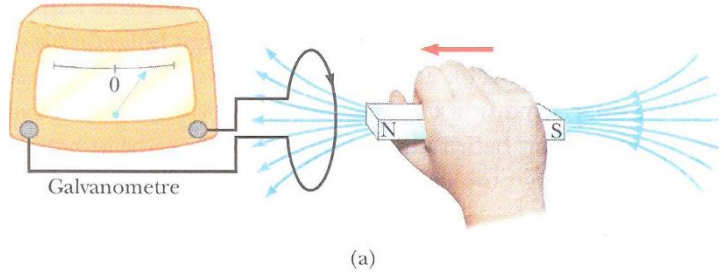


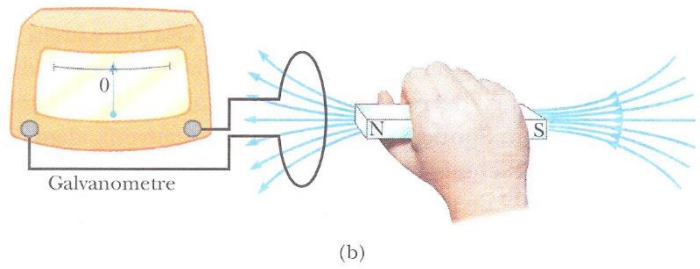
BÖLÜM 31 FARADAY YASASI

31.1 Faraday'ın İndüksiyon Kanunu

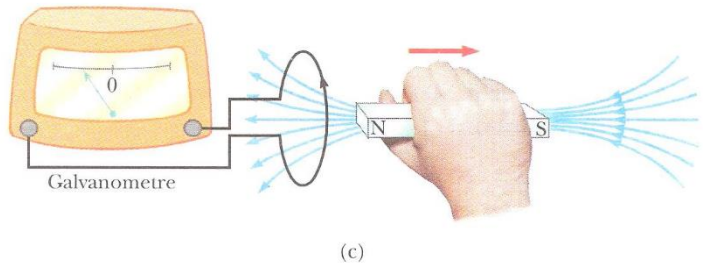
a) Manyetis, galvanometreye bağlı bir iletken halkaya yaklaştırıldığında ibre sapıyor. Manyetis daha hızlı yaklaştırılırsa ibre daha fazla sapar.



b) Manyetis bobinin yakınında sabit tutulursa ibre saptmaz. Yani devrede herhangi bir akım dolamaz, emk oluşmaz.



c) Manyetis uzaklaştırılırsa ibre ters tarafa sapar.



d) Manyetisin kutubunu değiştirilirse ibrenin sapması yönü değişir.

e) Manyetis sabit tutulup halka hareket ettirilirse yine ibre sapar.

$$\Phi_B = \vec{B} \cdot \vec{A} = B A \cos \theta \quad \text{veya}$$

$$\Phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{A}, \quad \mathcal{E}: \text{emk: elektromotor kuvveti.}$$

$$\mathcal{E} = - \frac{d\Phi_B}{dt}, \quad \mathcal{E} = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = - \frac{(\phi_f - \phi_i)}{t_f - t_i}$$

* Faraday yasası: " Bir devrede indüklenen emk, devreden geçen alanın zamanla göre türevi ile orantılıdır. "

$$\mathcal{E} = - \frac{d}{dt} (B A \cos \theta)$$

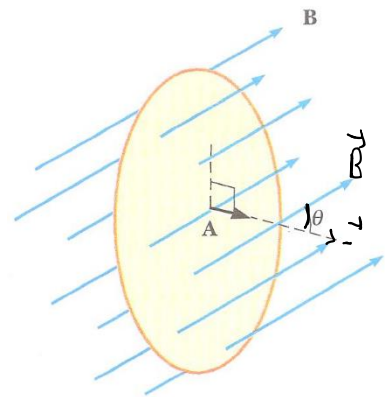
- B alanının büyüklüğü zamanla değişebilir: $B(t)$
- A, iletkenin çevrelediği alan zamanla değişebilir: Hareketli emk.
- θ , zamanla değişir: Dönme hareketi. (jeneratörler)

$$\theta = \omega t$$

↑
Açısal hız

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$

f: Halkanın dönme frekansı.



Örnek 31.1 Bobinde Emk Oluşturmanın Bir Yolu

Bir bobin, toplam direnci $2,0 \Omega$ olan 200 sarımlı, bir tel den oluşmuştur. Her sarım kenar uzunluğu 18 cm olan bir karedir ve düzgün bir manyetik alan bobin düzlemine dik olacak şekilde uygulanmıştır. Manyetik alan $0,8 \text{ s}$ içinde 0 Tesla dan, $0,5 \text{ Tesla}$ ya düzgün olarak değiştiriliyor. Bobinde oluşan emk'nin büyüklüğünü ve bobinden geçen akımın büyüklüğünü bulunuz.

$$\Phi = BA \cos \theta \Rightarrow \theta = 0^\circ \quad A = a^2$$

$$|E| = \left| -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \right| = N \frac{|\Delta \Phi|}{\Delta t}, \quad A = (0,18 \text{ m})^2 = 0,0324 \text{ m}^2$$

$$B_1 = 0, \quad B_2 = 0,5 \text{ T.} \quad |E| = 200 \frac{(\Phi_2 - \Phi_1)}{0,8} = 200 \cdot \frac{0,0162}{0,8}$$

$$\Phi_2 = B_2 A = (0,5)(0,0324) = 0,0162 \text{ T} \cdot \text{m}^2$$

$$|E| = 4,1 \text{ T m}^2/\text{s} = 4,1 \text{ Volt.}$$

$$i = \frac{|E|}{R} = \frac{4,1 \text{ V}}{2,0 \Omega} = 2,05 \text{ Amper.}$$



Örnek 31.2 Üstel Azalan B Alanı

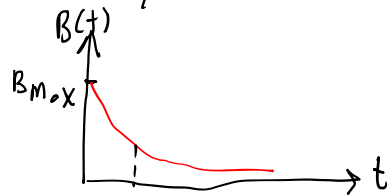
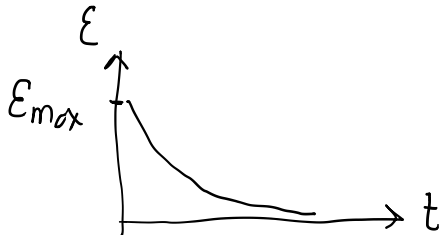
A yüzey alanına sahip bir tel halka, halka düzlemine dik bir manyetik alanın bulunduğu bir bölgeye yerleştirilmiştir. B'nin büyüklüğü $B = B_{\max} e^{-\alpha t}$ şeklinde değişiyor. Halkada oluşan emk'yı zamanın fonksiyonu olarak bulunuz.

$$\Phi(t) = BA \cos 0^\circ = A B_{\max} e^{-\alpha t}, \quad \alpha > 0$$

$\alpha: \frac{1}{s}$ birimindedir.

$$E = - \frac{d\Phi}{dt} = - A B_{\max} \frac{d}{dt} (e^{-\alpha t})$$

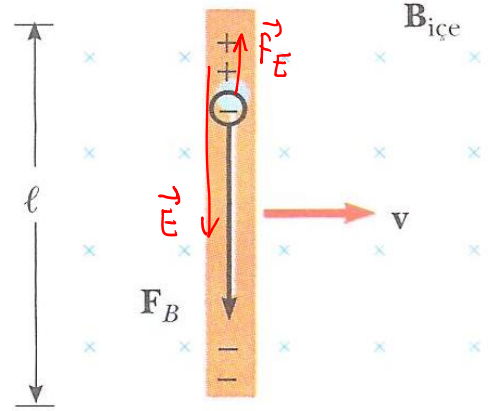
$$E(t) = - A B_{\max} (-\alpha e^{-\alpha t}) = \underbrace{A B_{\max} \alpha}_{E_{\max}} e^{-\alpha t}$$



31.2 HAREKETSSEL EMK

Sayfa düzleminde içeriye doğru yndmiş, dzğn bir manyetik alan içinde, şekilde gösterildiği gibi ℓ uzunluklu bir iletken tel sabit u hızıyla hareket ederse ne olur? $\mathcal{E} = ?$

$\vec{F}_{\text{man}} = q(\vec{u} \times \vec{B})$, $q: e^-$ ie $\vec{F}_B$ ağayı doğrudur. - yükler uhuđun alt ucuğa hareket eder. st ucuğa + yükler ağığa çıkar.



Sonu: Yük ayrımı ne zemane kadar sner.

$\mathcal{E}$ artar. $F_B = q(\vec{u} \times \vec{B}) = \text{belli}$
Öyle bir an gelirken $F_E = F_B$ olur. $q\mathcal{E} = q\ell B$

$\mathcal{E} = \ell B$ olunca yk ayrımı durur. Telin ucuğa araında $\Delta V = \mathcal{E} \ell = B \ell u$ potansiyel fark olur.

(a)'daki gibi srtinmez iletken raylar özünde hareket eden uhukta indlenen emk:

$$\Phi = BA = B \ell x(t)$$

$$\mathcal{E} = - \frac{d\Phi}{dt} = -B \ell \frac{dx}{dt} = -B \ell u$$

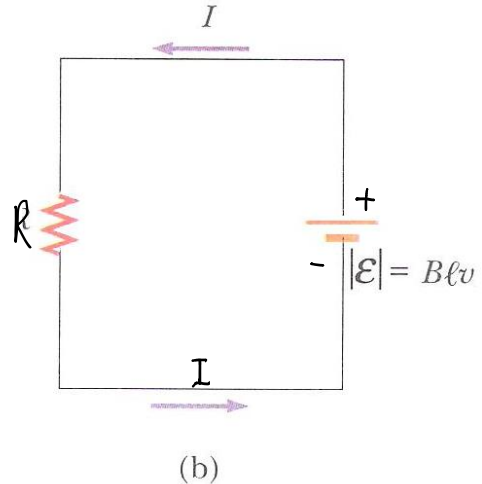
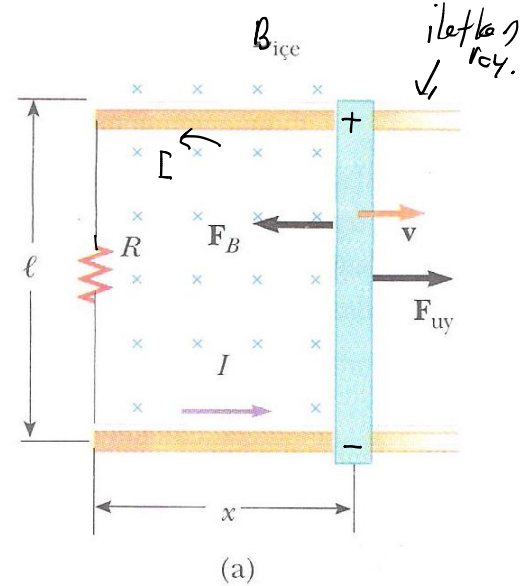
$$|\mathcal{E}| = B \ell u = \Delta V$$

(b) 'a'daki sistemin eřdeğeriđir.

Hareket eden uhuk bir emk kaynağıdır. R direncinden gelen

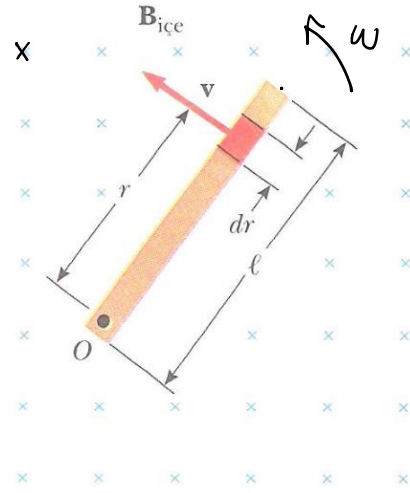
$$I = \frac{|\mathcal{E}|}{R} = \frac{B \ell u}{R}, \text{ R direncinde harcanan g}$$

$$\mathcal{P} = I^2 R = \frac{B^2 \ell^2 u^2}{R} = \frac{B^2 \ell^2 u^2}{R} = \frac{\mathcal{E}^2}{R} \text{ olur.}$$



Örnek 31.4 Dönen Çubukta Oluşan Emk

ℓ uzunluklu bir iletken çubuk
bir uçundan bir mil etrafında
 ω = sabit açısal hızıyla dönmektedir.
Çubuk, doğru B alanı içindedir.
Çubuğun uçları arasında oluşan
hareketli emkiyi bulunuz.



$\mathcal{E} = B \ell v$ idi. Çubuk
sabit ω açısal hızıyla dönüyor. Fakat
çubuğun her noktası farklı çizgisel
hıza sahiptir, $v = \omega r$

Ödön r kadar uzaklıktaki bir parçanın hızı v olursa,

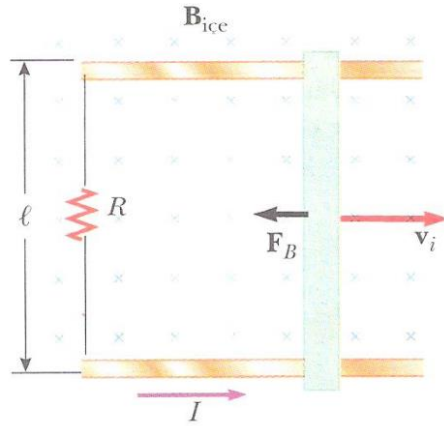
$$d\mathcal{E} = B v dr \Rightarrow \mathcal{E} = \int_0^\ell B v dr$$

$$= \int_0^\ell B \omega r dr = B \omega \int_0^\ell r dr = B \omega \left(\frac{r^2}{2} \right)_0^\ell$$

$$= \frac{1}{2} B \omega \ell^2$$

Örnek 31.5 Kayan Çubuğa Etkiyen Manyetik Kuvvet

m kütlesine ve ℓ uzunluğuna sahip bir
çubuk şekilsel bir iletken ikiye paralel sürtünmesiz
ray üzerinde hareket ediyor. Çubuğa
 $t=0$ anında sağa doğru bir v_i ilk hızı
verilip serbest bırakılıyor. Çubuğun
hızını zamanın fonksiyonu olarak bulunuz.



Newton'un ikinci yasası $F = m a = m \frac{dv}{dt}$
 $F_B = -I \ell B$ manyetik kuvvetin
etkisi altındadır.

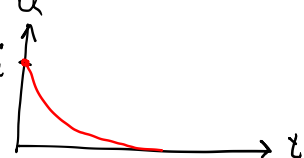
$$m \frac{dv}{dt} = -I \ell B, \quad I = \frac{\mathcal{E}}{R} = \frac{B \ell v}{R}$$

$$m \frac{dv}{dt} = - \frac{B^2 \ell^2}{R} v \Rightarrow \int_{v_i}^v \frac{dv}{v} = \int_0^t - \frac{B^2 \ell^2}{m R} dt = - \left(\frac{B^2 \ell^2}{m R} \right) \int_0^t dt$$

$$\tau = \frac{m R}{B^2 \ell^2} \text{ bir sabit. } \ln v \Big|_{v_i}^v = - \frac{1}{\tau} t$$

$$\ln(v) - \ln(v_i) = \ln \left(\frac{v}{v_i} \right) = - t/\tau \quad \text{Her iki tarafın exp}$$

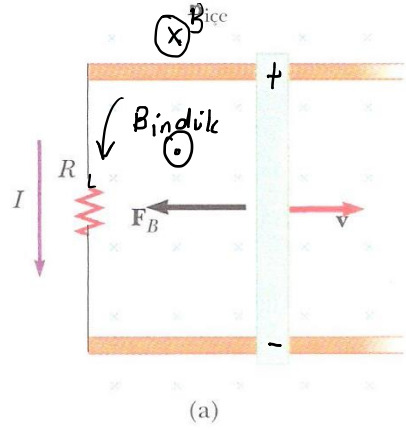
$$\frac{v}{v_i} = e^{-t/\tau} \Rightarrow v(t) = v_i e^{-t/\tau}$$



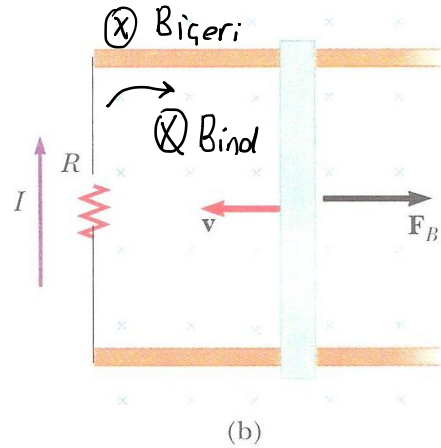
31.3 LENZ YASASI

"İndüksiyon emk'i'nin yönü (polaritesi) akım ilmeğinin çevrelediği yüzeyden geçen manyetik akı değişimine karşı koyacak şekilde manyetik akı oluşturan akımın yönündedir."

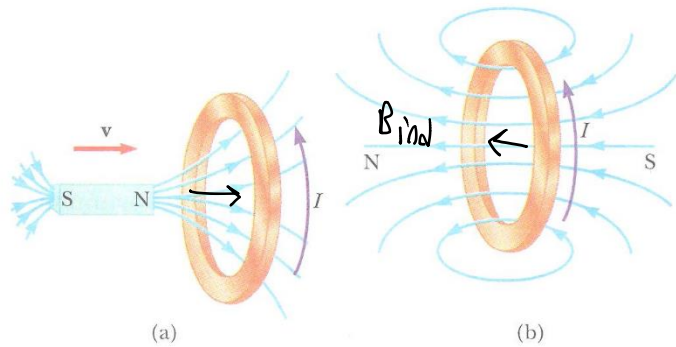
(a) Manyetik akı artıyor. ilmekten geçen Bu artışı engellemek (değişime karşı) için bize doğru bir manyetik alan olmalıdır. Sağ el kuralına göre bu indüklenmiş manyetik alanın bize doğru olması için akımın saat ibresi yönünde olması gerekir.



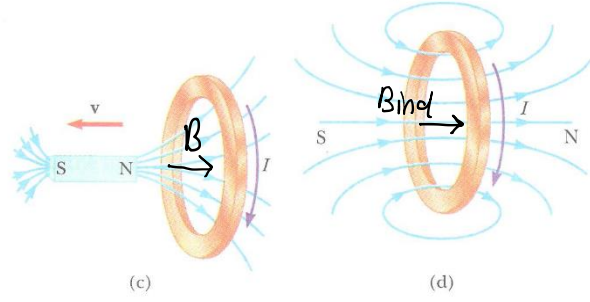
(b) Durum bunun tersinedir. Çubuk sola doğru hareket ediyor. Ilemğin alanı küçülüyor. Yani ilmekten geçen akı azalıyor. Ilemkte öyle bir akım yönü seçmeliyiz ki akının azalmasını engelleyen bir indüklenmiş alan oluştursun. Akım saat ibresi yönündedir.



(a) Akı artıyor. İndüksiyon akımı, şekildedeki gibi olur. manyetik alanın altına zıt bir alan oluşur (b)



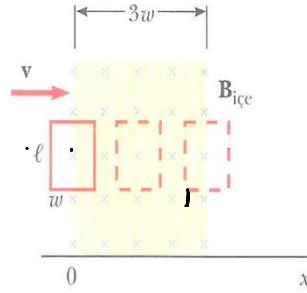
(c) Akı azalır. Bu azalmayı karşılamak için akım şekildedeki gibi olmalıdır (d)



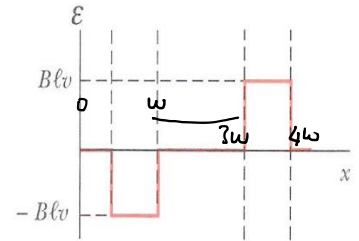
Örnek 31.7 Manyetik Alan içinde Hareket Eden Halka

Boyutları ℓ ve w olan ve direnci de R olan dikdörtgen bir metalik halka, Şekil 31.16a'da olduğu gibi sayfa düzlemine dik ve içeriye doğru yönelmiş olan ve x eksenini boyunca $3w$ mesafesine kadar uzanan, düzgün bir $\mathbf{B}$ manyetik alanı içinden, sabit bir v hızıyla sağa doğru hareket ediyor. x 'i, x -ekseni boyunca halkanın sağ kenarından itibaren ölçülen konum olarak tanımlarsak, x in fonksiyonu olarak (a) halkanın çevrelediği alandan geçen manyetik akıyı, (b) indüklenmiş hareketsetel emk'i ve (c) manyetik kuvveti dengelemek ve v hızını sabit tutmak için gerekli olan dış kuvveti bulunuz.

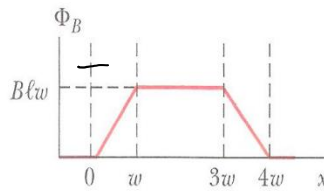
$$\mathcal{E} = - \frac{d\Phi}{dt}$$



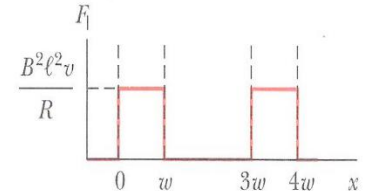
(a)



(c)



(b)



(d)

Şekil 31.16 (a) w genişliğinde, ℓ uzunluğunda olan ve $3w$ genişliğindeki düzgün bir manyetik alan içinde sabit bir v hızıyla hareket eden dikdörtgen bir halka. (b) Halkanın konumunun fonksiyonu olarak akının değişimi. (c) Ön kenarın konumunun fonksiyonu olarak indüksiyon emk'inin değişimi. (d) Halka hızının sabit olması halinde kuvvetin konuma göre değişimi.

31.4 İNDÜKSİYON EMK'LERİ ve ELEKTRİK ALANLAR

Değişen manyetik akı, emk oluşturur.
diğer yandan değişen manyetik
alan bir elektrik alanı oluşturur.

Şekildeki gibi bir halının 12 m'den
geçen akının zamanla değişiyor olsun.

$$(1) \mathcal{E} = - \frac{d\Phi}{dt}, \text{ indüklenmiş emk}$$

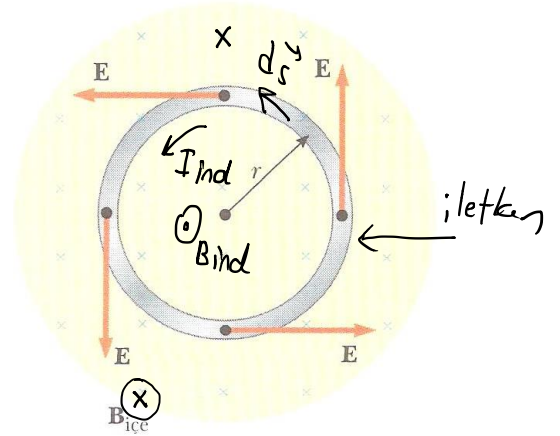
bir elektrik alanının varlığını ima eder.

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = \oint E ds = E \oint ds = E 2\pi r = \mathcal{E} \quad (2)$$

$$(2) E = \frac{\mathcal{E}}{2\pi r} \stackrel{(1)}{=} - \frac{1}{2\pi r} \frac{d\Phi}{dt}, \quad \Phi = \pi r^2 B$$

$$E = - \frac{r}{2} \frac{dB}{dt} (*) \quad \left| \quad \oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = \mathcal{E} = - \frac{d\Phi}{dt} \right.$$

"Değişen manyetik alan bir elektrik alanı oluşturur"



Örnek 31.8 Selenoidde Değişen bir Manyetik Alanın Oluşturduğu Elektrik Alanı

R yarıçaplı, uzun bir selenoid, birim
uzunluğunda n sarım ve $I = I_{\max} \cos \omega t$
şeklinde zamanla değişen bir akım
taşıyor. Burada $I_{\max}$ maksimum akım
 ω frekansın açısal frekansıdır.

⇒ a) $r > R$ 'de indüklenmiş $\vec{E}$ 'yi bulalım.

$$B = \mu_0 n I \text{ (di.)} \rightarrow B(t) = \mu_0 n I(t)$$

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = - \frac{d\Phi}{dt}, \quad \Phi = A B = \pi R^2 \frac{dB}{dt}$$

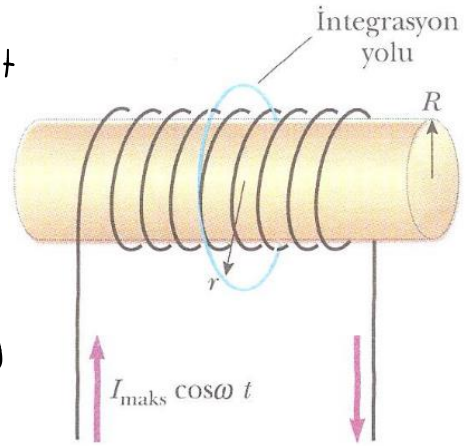
$$\downarrow$$

$$E 2\pi r = - \pi R^2 \frac{dB}{dt}$$

$$B = \mu_0 n I_{\max} \cos \omega t, \quad \frac{dB}{dt} = - \mu_0 n I_{\max} \omega \sin \omega t$$

$$E = \frac{\mu_0 n I_{\max} \omega R^2}{2r} \sin \omega t$$

$r > R$ 'de.

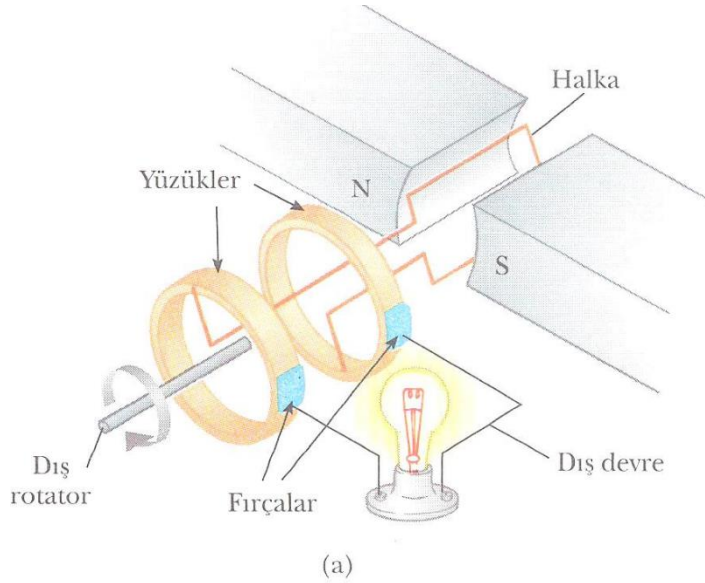


(Not: Manyetik alan homojen
12 m'den itibaren farklı, dışındaysa
sıfırdır)

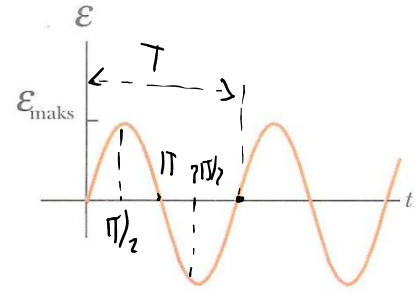
b) $r < R$ ie $E = ?$ $\Phi = \pi r^2 B$

$$E = \frac{\mu_0 n I_{max} \omega}{2} r \sin \omega t \quad r \leq R$$

31.5 JENERATÖRLER ve MOTORLAR



ac: alternatif
akım.



Şekil 31.19 (a) ac jeneratörünün şematik gösterimi. Manyetik alan içinde bazı dış etkenler tarafından döndürülen bir halkada emk oluşur. (b) Halkada oluşan alternatif emk zamana göre çizilmiştir.

$$E = - \frac{d\Phi}{dt} \quad \text{"Faraday Yasası"}$$

B ile değeri hılır

$$\Phi = B A \cos \theta$$

A ile değeri hılır $\theta(t)$ zamanla değeri hılır.

$$\theta = \omega t, \quad \omega = 2\pi f \Rightarrow f = \frac{\omega}{2\pi}$$

$$T = \frac{1}{f} = \frac{2\pi}{\omega}$$

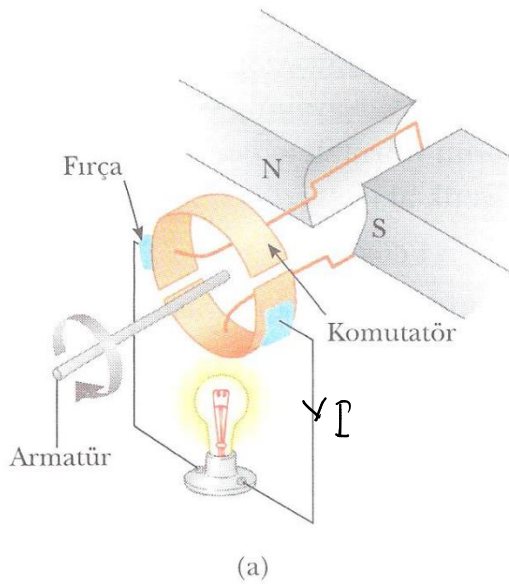
$$E = - \frac{d}{dt} (B A \cos \omega t)$$

$$= - B A (-\omega) \sin \omega t = (B A \omega) \sin \omega t = E_{max} \sin \omega t$$

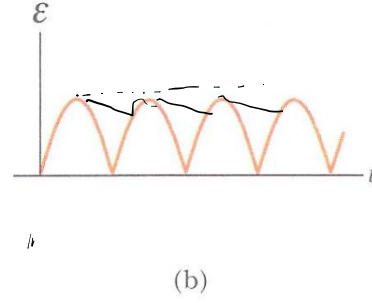
E_{max} . Türkiye'de $f = 50 \text{ Hz}$.

Bu hın N sarımlı ie

$$E(t) = \underbrace{(B A \omega N)}_{E_{max}} \sin \omega t$$



dc: direct circuit
Tek yönlü akır.



Şekil 31.21 (a) Bir dc jeneratörün şematik gösterimi. (b) Zamana göre çizilmiş olan emk, büyüklük bakımından dalgalanır fakat polarite hiç değişmez.

31.7 MAXWELL DENKLEMLERİ

Basitlik için **Maxwell denklemlerini**, her hangi bir dielektrik ve manyetik malzemenin olmadığı ortamda, yani *serbest uzaya* uygulandığı biçimde sunacağız. Bu dört denklem aşağıdaki gibidir:

$$\oint_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A} = \frac{Q_{iS}}{\epsilon_0} \leftarrow$$

(31.12)

Gauss Yasası ✓

$$\oint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A} = 0$$

(31.13)

Manyetizmada Gauss Yasası ✓

$$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = - \frac{d\Phi_B}{dt} = \mathcal{E}$$

(31.14)

Faraday Yasası

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = \mu_0 I + \left(\epsilon_0 \mu_0 \frac{d\Phi_E}{dt} \right)$$

(31.15)

Ampère-Maxwell Yasası

$$\frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} = c \approx 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$