

Oscilații și unde electromagnetice

Ștefan Ștefănescu, Costin-Ionuț Dobrotă
COLEGIUL NAȚIONAL „DIMITRIE CANTEMIR” ONEȘTI

Mai, 2020

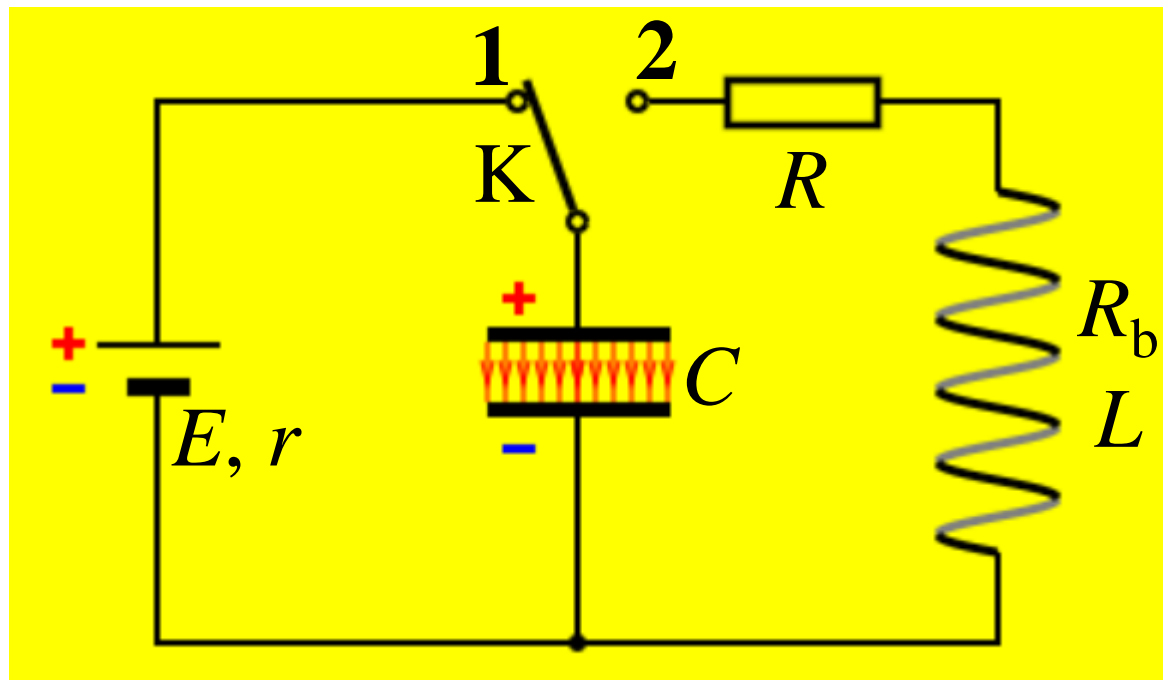
<https://fizicaliceu.com>

Oscilații și unde electromagnetice

- Circuitul oscilant
- Oscilații electromagnetice libere
- Câmpul electromagnetic. Unda electromagnetică
- Emisia și recepția undelor electromagnetice. Antena
- Aplicații ale undelor electromagnetice

Circuitul oscilant

https://www.walter-fendt.de/html5/phro/oscillatingcircuit_ro.htm

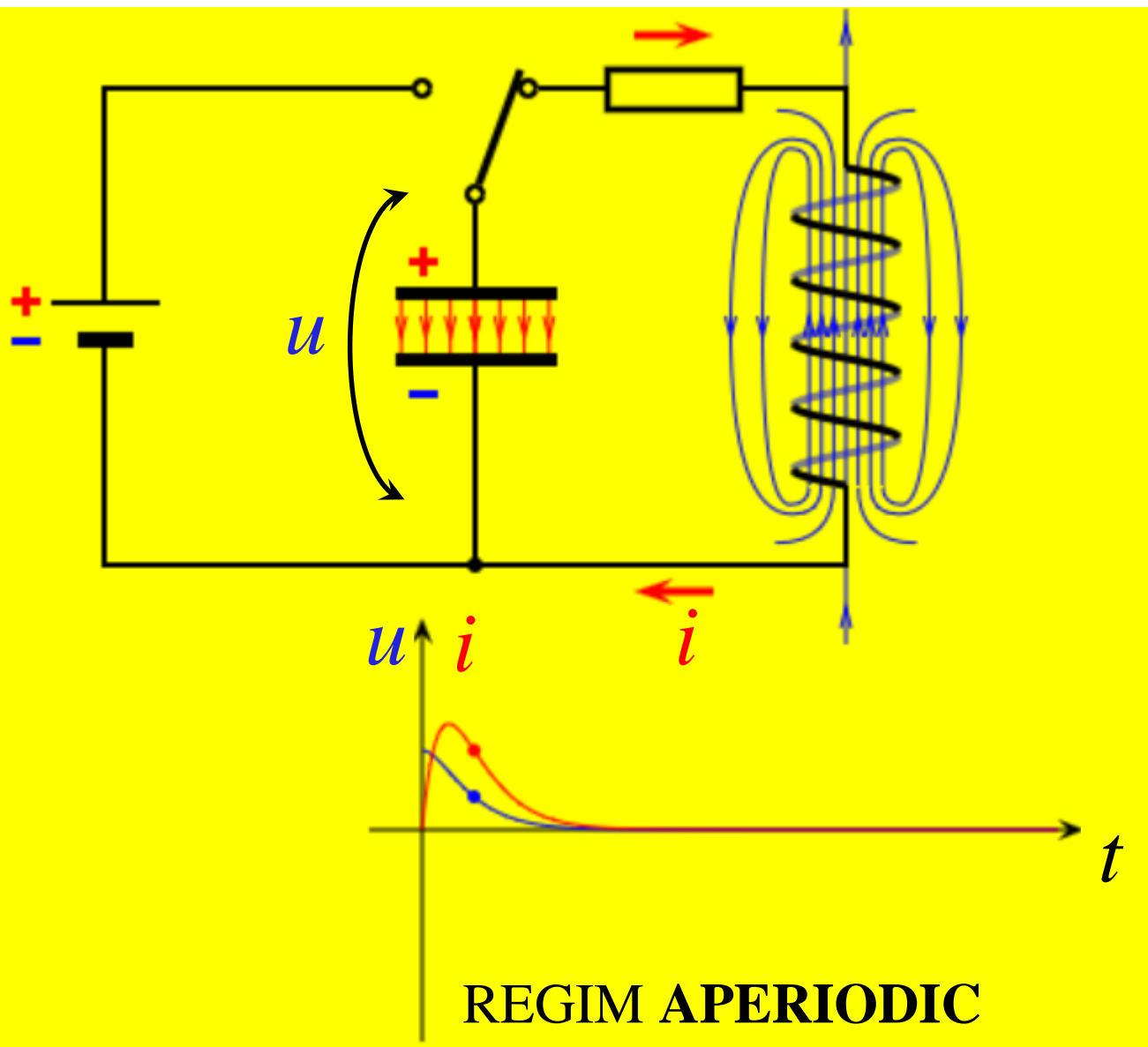


- K-1: Condensatorul se încarcă, de la sursă, cu sarcini electrice egale și de semne opuse.
- K-2: Condensatorul se descarcă pe circuitul care conține rezistorul și bobina.

Rezistența totală a circuitului: $R_{\text{tot}} = R + R_b$

Circuitul oscilant

https://www.walter-fendt.de/html5/phro/oscillatingcircuit_ro.htm

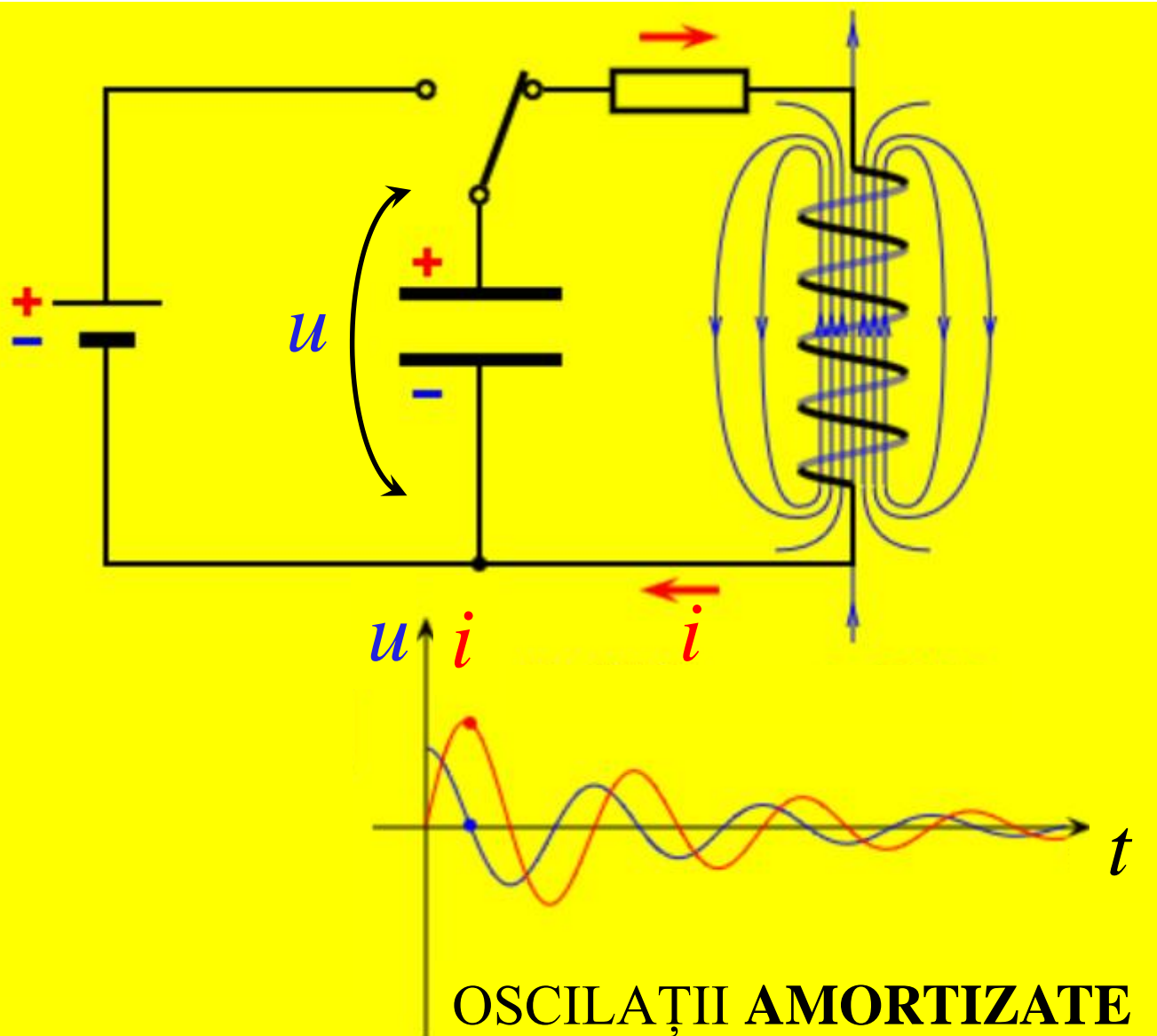


$$\text{Dacă: } R_{\text{tot}} \geq 2\sqrt{\frac{L}{C}} \Rightarrow$$

- Descărcarea condensatorului este aperiodică.
- Tensiunea electromotoare autoindusă în bobină este insuficientă pentru a produce reîncărcarea condensatorului.
- Descărcarea condensatorului este aperiodică, rapidă, deoarece energia înmagazinată în condensator la încărcare se disipă prin efect Joule pe rezistența circuitului.

Circuitul oscilant

https://www.walter-fendt.de/html5/phro/oscillatingcircuit_ro.htm

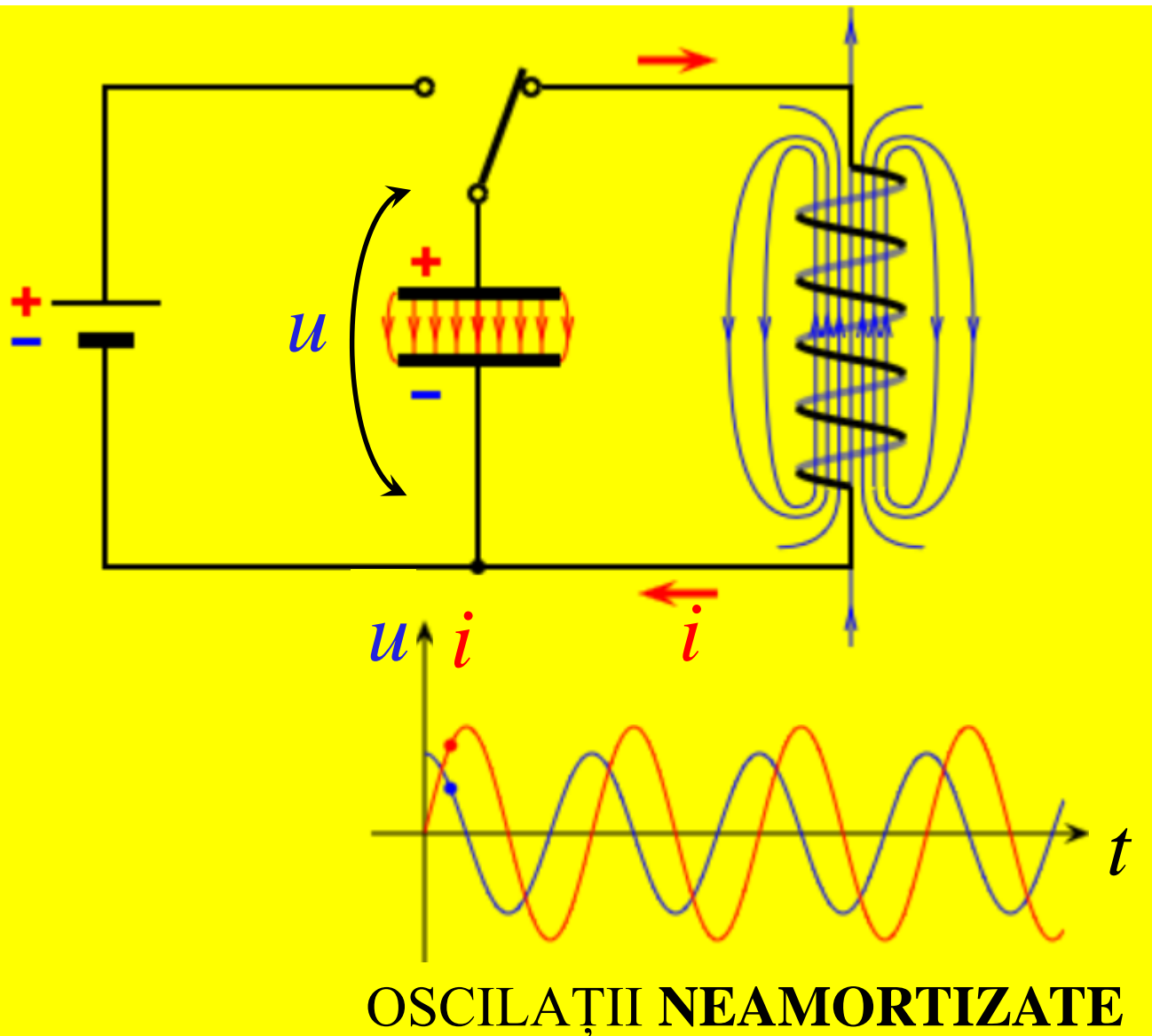


$$\text{Dacă: } R_{\text{tot}} < 2\sqrt{\frac{L}{C}} \Rightarrow$$

- Descărcarea condensatorului este periodică.
- Tensiunea electromotoare autoindusă în bobină produce reîncărcarea condensatorului.
- În timp, condensatorul se încarcă și se descarcă succesiv.
- Oscilațiile sunt amortizate deoarece, în timp, energia înmagazinată în condensator la încărcare se disipă prin efect Joule pe rezistența circuitului.

Circuitul oscilant ideal

https://www.walter-fendt.de/html5/phro/oscillatingcircuit_ro.htm

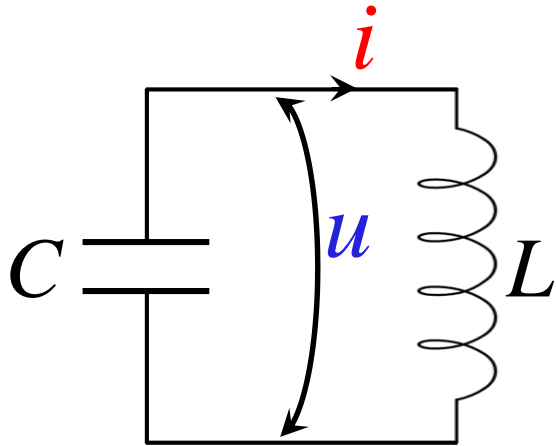


Dacă: $R_{\text{tot}} = 0 \Rightarrow$

- Descărcarea condensatorului este periodică. Amplitudinile tensiunii și intensității rămân constante în timp.
- În circuit apar oscilații electromagnetice libere ale tensiunii și intensității curentului electric.
- Nu se disipă energie prin efect Joule.
- Oscilațiile sunt neamortizate, energia circuitului se conservă.

Oscilații electromagnetice libere

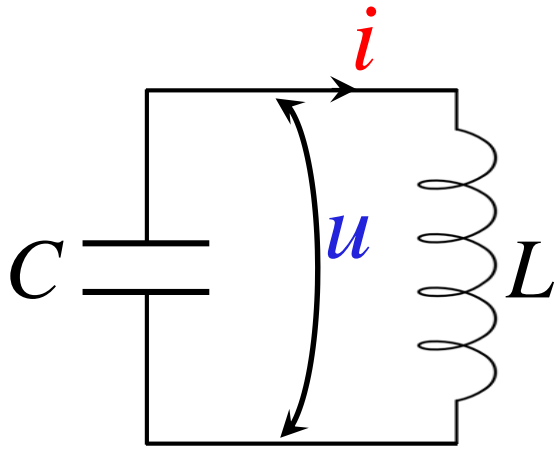
Circuit oscilant ideal:



Circuitul oscilant ideal alcătuit dintr-o bobină ideală și un condensator (numit și circuit LC) manifestă o comportare periodică: descărcarea bobinei determină încărcarea condensatorului și invers. În cazul ideal, energia totală a unui astfel de sistem se conservă, ceea ce înseamnă că, teoretic, oscilațiile tensiunii și intensității curentului din circuit continuă la infinit.

Oscilații electromagnetice libere. Perioada proprie

Circuit oscilant ideal:



Tensiunea este aceeași pe bobina ideală și pe condensator:

$$U_L = U_C \quad \Rightarrow \quad X_L I = X_C I \quad \Rightarrow$$

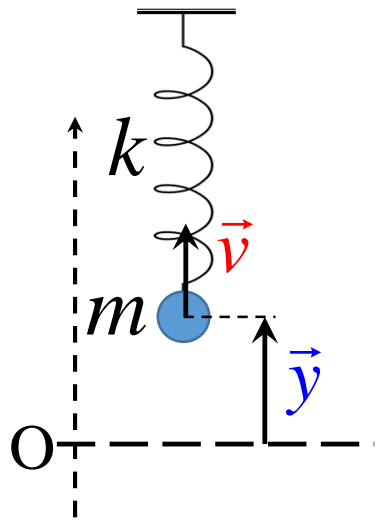
$$X_L = X_C \quad \Rightarrow \quad \omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C} \quad \Rightarrow$$

Pulsația proprie a circuitului: $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$

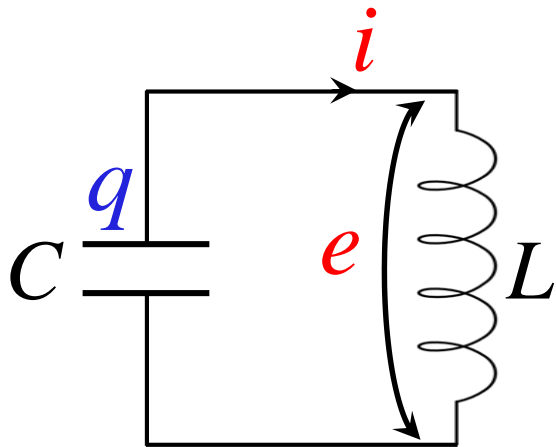
Perioada proprie a circuitului: $T_0 = 2\pi\sqrt{LC}$ (formula lui Thomson)

Concluzii: Pulsația, frecvența și perioada depind numai de inductanța bobinei și de capacitatea condensatorului din circuit (sunt proprii circuitului). Expresiile obținute sunt identice cu cele caracteristice rezonanței circuitului de curent alternativ RLC.

Oscilații electromagnetice libere. Analogie



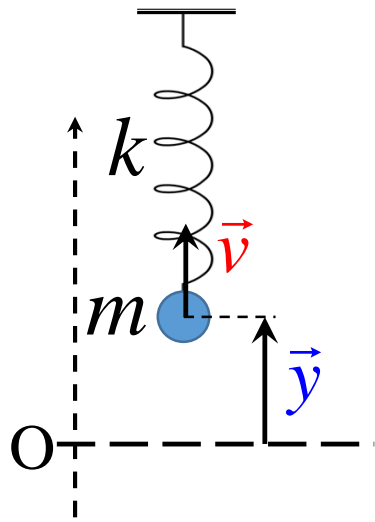
Principiul fundamental: $m\vec{a} = \vec{F} \Rightarrow m \frac{dv}{dt} = -ky$



Legea lui Ohm: $e = u \Rightarrow L \frac{di}{dt} = -\frac{1}{C}q$

$$\left(e = -L \frac{di}{dt}, \quad C = \frac{q}{u} \Rightarrow u = \frac{q}{C} \right)$$

Oscilații electromagnetice libere. Analogie



Principiul fundamental: $\frac{dv}{dt} = -\frac{k}{m} y$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Legea lui Ohm: $\frac{di}{dt} = -\frac{1}{LC} q$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Oscilatorul liniar armonic

Circuitul oscilant ideal

Viteza, v

Intensitatea curentului electric, i

Elongația, y

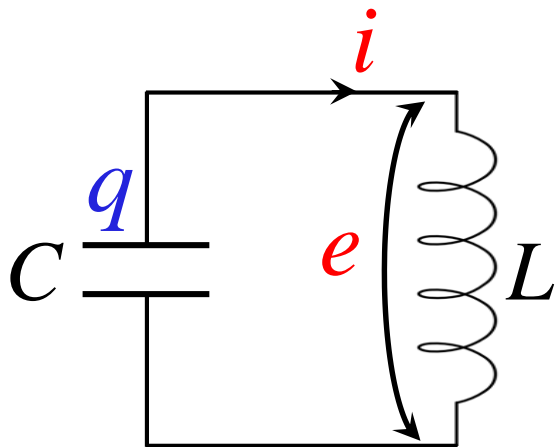
Sarcina electrică, q

Masa oscilatorului, m

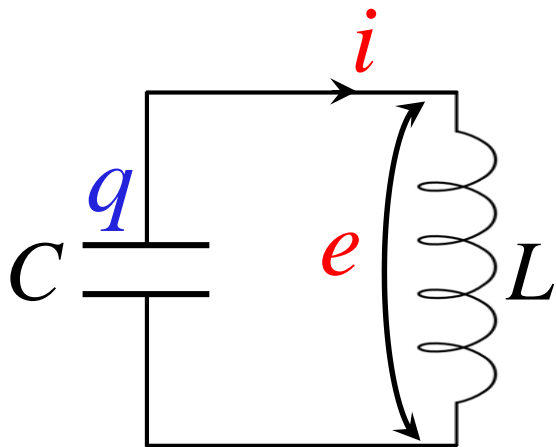
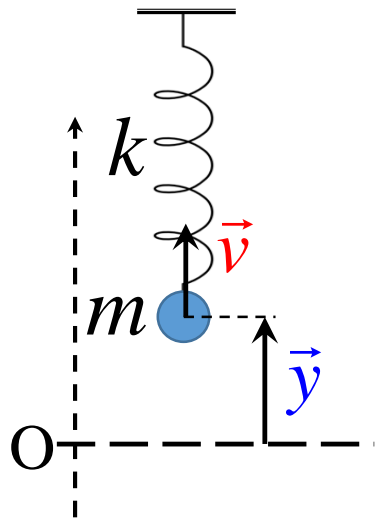
Inductanța bobinei, L

Constanta elastică, k

(Capacitatea condensatorului)⁻¹, $1/C$



Oscilații electromagnetice libere. Analogie



Oscilatorul liniar armonic

Circuitul oscilant ideal

Viteza, v

Intensitatea curentului electric, i

Elongația, y

Sarcina electrică, q

Masa oscilatorului, m

Inductanța bobinei, L

Constanta elastică, k

(Capacitatea condensatorului)⁻¹, $1/C$

Energia cinetică, $\frac{1}{2}mv^2$

Energia câmpului magnetic, $\frac{1}{2}Li^2$

Energia potențială, $\frac{1}{2}ky^2$

Energia câmpului electric, $\frac{1}{2}C^{-1}q^2$

Conservarea energiei

Conservarea energiei

$$\frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}ky^2 = \text{const.}$$

$$\frac{1}{2}Li^2 + \frac{1}{2}C^{-1}q^2 = \text{const.}$$

Câmpul electromagnetic. Unda electromagnetică

Electricitatea și magnetismul s-au dezvoltat separat până în 1820 când Hans Cristian Oersted a observat legătura dintre cele două domenii și anume că un conductor străbătut de curent electric deviază un ac magnetic.

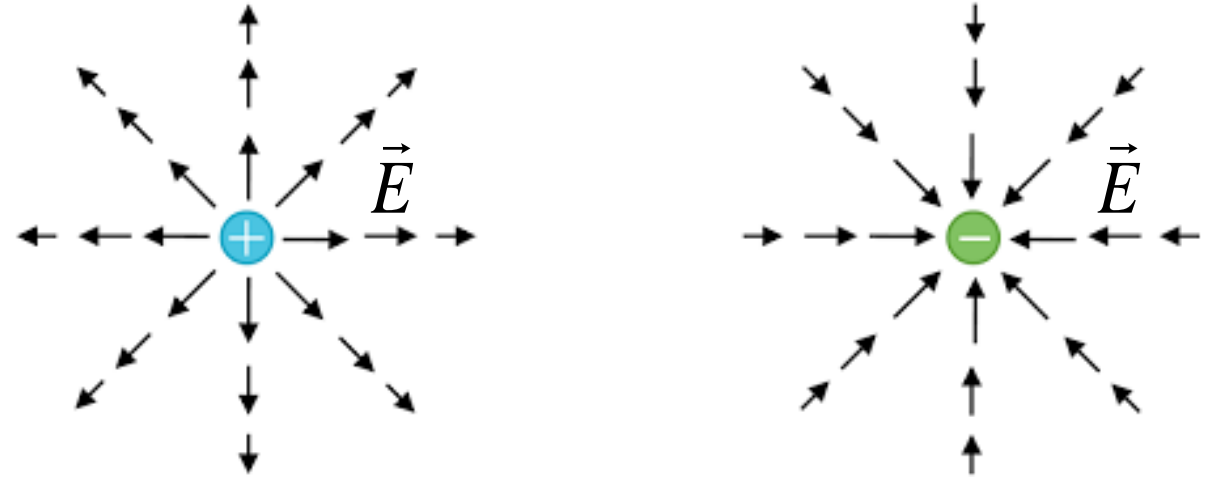
Câmpurile electrice și magnetice statice (care nu variază în timp) pot fi studiate independent, dar câmpurile dinamice trebuie analizate ținând cont de acțiunea reciprocă dintre ele.

James Clerk Maxwell a sistematizat legea inducției electromagnetice a lui Faraday și expresiile câmpului magnetic indus de curenți în 4 ecuații care stau la baza analizei câmpului electromagnetic.

Câmpul electromagnetic. Unda electromagnetică

1. Câmpul electric:

Sarcinile electrice pozitive sunt „surse” de linii de câmp electric, iar sarcinile negative sunt „scurgeri” de linii de câmp.



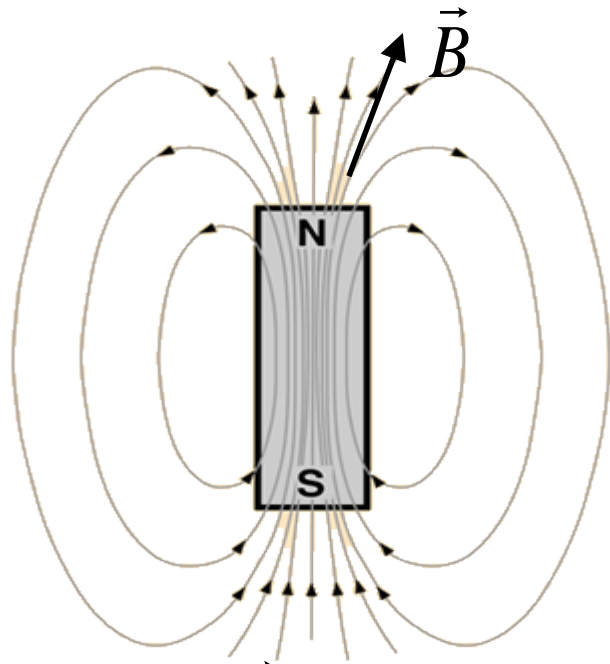
Sarcini electrice punctiforme care produc câmpuri electrice cu simetrie sferică.

\vec{E} – Intensitatea câmpului electric

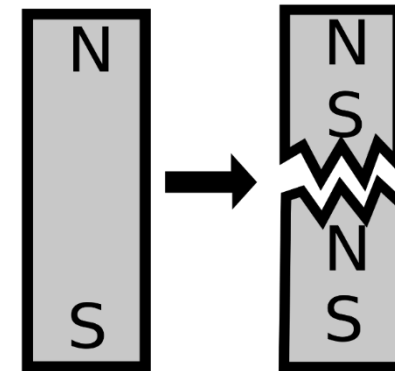
Câmpul electromagnetic. Unda electromagnetică

2. Câmpul magnetic:

Liniile de câmp magnetic sunt întotdeauna închise – un magnet are obligatoriu un pol N și un pol S, nu există magneți cu un singur pol.



*Liniile de câmp
„pleacă” din polul
nord și „se întorc” în
polul sud*



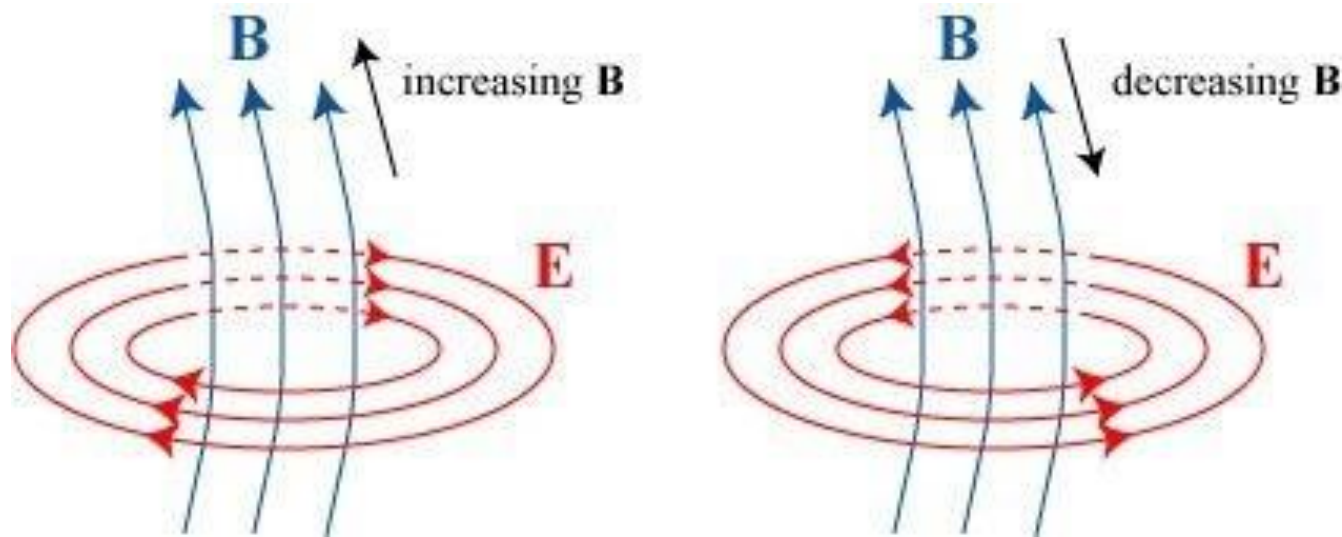
*Este imposibil să
separăm polul nord
al unui magnet de
polul sud.*

\vec{B} – Inducția câmpului magnetic

Câmpul electromagnetic. Unda electromagnetică

3. Generarea câmpului electric (fenomenul de inducție electromagnetică):

Orice câmp magnetic variabil în timp creează un câmp electric ale cărui linii de câmp sunt închise, intensitatea câmpului electric fiind direct proporțională cu viteza de variație a inducției câmpului magnetic. Această lege este echivalentă cu legea inducției a lui Faraday.



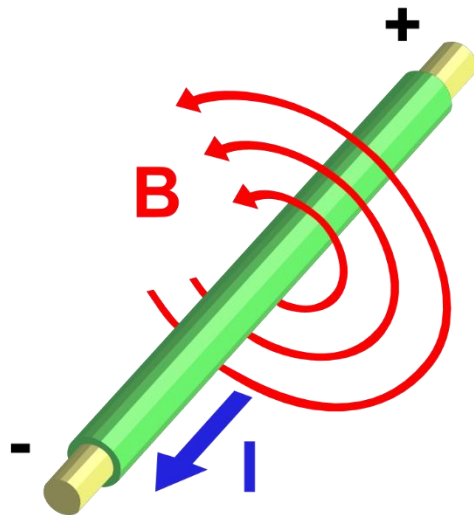
Sensul liniilor de câmp electric este dat de sensul de rotire al unui burghiu drept care înaintează în sens invers creșterii inducției magnetice.

Câmpul electromagnetic. Unda electromagnetică

4. Generarea câmpului magnetic:

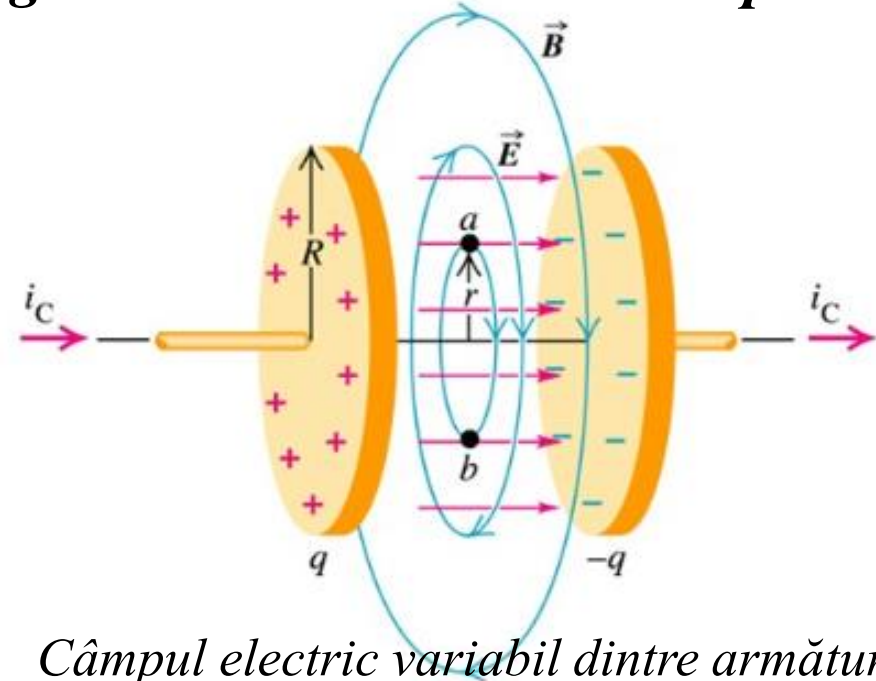
Această lege indică cele două surse posibile ale câmpului magnetic: curentul electric sau un câmp electric variabil.

a) Câmpul magnetic produs de curent electric:



Sensul liniilor de câmp magnetic indus se află cu ajutorul regulii burghiului drept.

b) *Orice câmp electric variabil în timp creează un câmp magnetic ale cărui linii de câmp sunt închise:*



Câmpul electric variabil dintre armături induce în câmp magnetic al cărui sens poate fi determinat cu ajutorul regulii burghiului drept.

Câmpul electromagnetic. Unda electromagnetică

Definiție: Câmpul electromagnetic este ansamblul celor două câmpuri, electric și magnetic, care oscilează și se generează reciproc.

Rezolvând ecuațiile lui Maxwell în absența sarcinilor electrice, s-a ajuns la concluzia că o perturbație electromagnetică constând din câmpuri electrice și magnetice oscilatorii se propagă în spațiu, chiar și în lipsa unui mediu material. Forma de propagare a acestei perturbații se numește *undă electromagnetică*.

Definiție: Unda electromagnetică este fenomenul de propagare a câmpului electromagnetic.

Câmpul electromagnetic. Unda electromagnetică

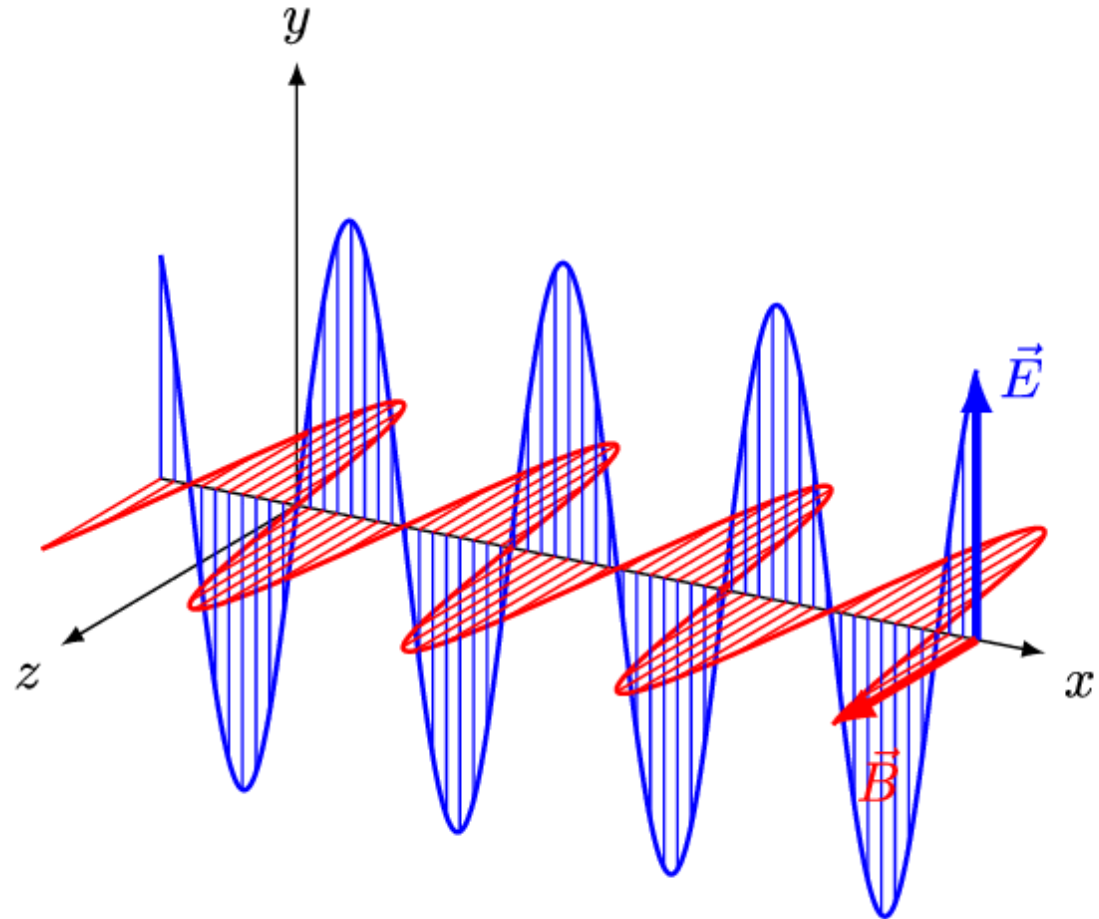
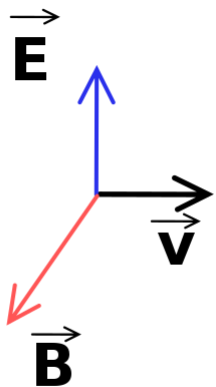
Ecuatiile lui Maxwell (1864):

ecuații diferențiale
$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{1}{\epsilon_0} \rho$
$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$
$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$
$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$

- *Câmpul magnetic variabil în timp creează un câmp electric rotațional, ale cărui linii de câmp sunt închise.*
- *Curentul electric și câmpul electric variabil în timp creează un câmp magnetic rotațional, ale cărui linii de câmp sunt închise.*

Câmpul electromagnetic. Unda electromagnetică

Din teoria lui Maxwell rezultă că vectorii \vec{E} și \vec{B} oscilează în plane perpendiculare și de asemenea că undele electromagnetice sunt unde transversale, vectorii \vec{E} și \vec{B} fiind perpendiculari pe direcția de deplasare.



<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:EM-Wave.gif>

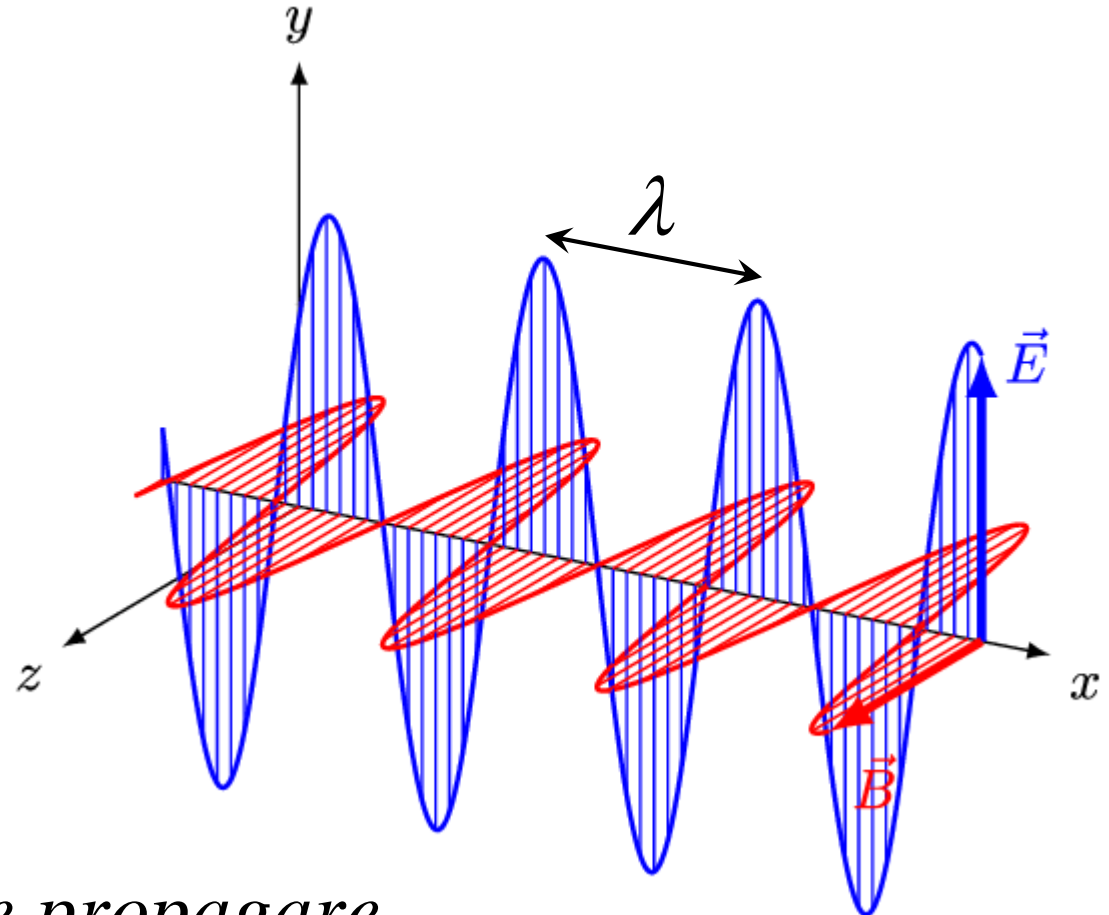
Câmpul electromagnetic. Unda electromagnetică

Viteza de propagare: $v = \frac{x}{\Delta t}$

Pentru: $\Delta t = T$ (perioada),
 $x = \lambda$ (lungimea de undă)

Rezultă: $v = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot \nu \Rightarrow$

Frecvența undei: $\nu = \frac{v}{\lambda} = \frac{\text{viteza de propagare}}{\text{lungimea de undă}}$



<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:EM-Wave.gif>

Câmpul electromagnetic. Unda electromagnetică

Vectorii \vec{E} și \vec{B} , în cazul unei unde electromagnetice plane și monocromatice, se exprimă astfel:

$$\vec{E} = \vec{E}_0 \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} x\right)$$

$$\vec{B} = \vec{B}_0 \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} x\right)$$

Vectorii \vec{E}_0 și \vec{B}_0 reprezintă valorile maxime (amplitudini) ale vectorilor \vec{E} și \vec{B} .

Viteza de propagare a undelor electromagnetice într-un mediu depinde de proprietățile electrice și magnetice ale acestuia, adică de permitivitatea electrică (ϵ) și permeabilitatea magnetică (μ):

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \cdot \mu}}$$

Câmpul electromagnetic. Unda electromagnetică

Permitivitatea electrică absolută a vidului: $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}}$

Permeabilitatea magnetică absolută a vidului: $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{H}}{\text{m}}$

În vid, viteza de propagare a undelor electromagnetice:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \cdot \mu_0}} \cong \frac{1}{\sqrt{8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 4\pi \cdot 10^{-7}}} \cong 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Valoarea de mai sus, calculată din considerente teoretice, este egală cu viteza luminii în vid determinată experimental. Acesta este unul dintre argumentele pentru care s-a ajuns la concluzia că **lumina este o undă electromagnetică**.

Câmpul electromagnetic. Unda electromagnetică

Din teoria electrodinamicii rezultă încă o relație importantă, referitoare la amplitudinea de oscilație a inducției câmpului magnetic:

$$B_0 = \frac{E_0}{v}, \quad \text{unde } v \text{ este viteza de propagare a unei electromagnetice într-un mediu oarecare}$$

Deoarece viteza de propagare a undelor electromagnetice este foarte mare, se deduce că $B_0 \ll E_0$ (B_0 este mult mai mic decât E_0).

Emisia și recepția undelor electromagnetice. Antena

Definiție: Antena este un dispozitiv care transferă energie electrică de radiofrecvență de la o sursă către un mediu, sub formă de energie a undelor electromagnetice.



1887 - Heinrich **Hertz**: prima transmisie radio

[https://ro.wikipedia.org/wiki/Antenă_\(radio\)](https://ro.wikipedia.org/wiki/Antenă_(radio))

<https://en.wikipedia.org/wiki/Transmitter>

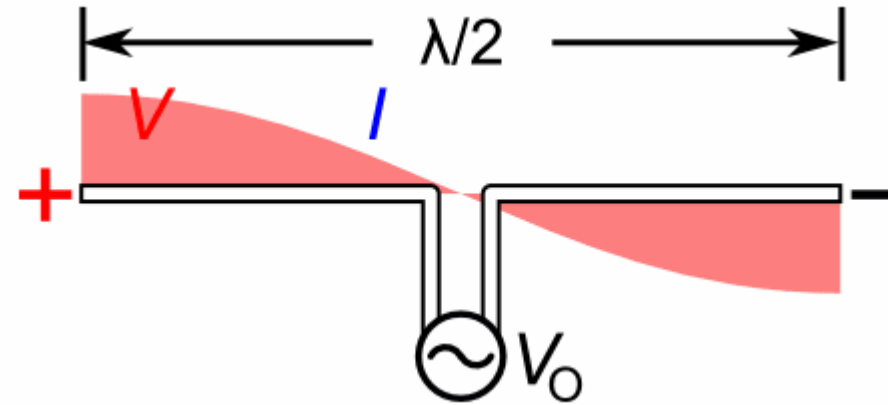
Emisia și recepția undelor electromagnetice. Antena

Emisia undelor electromagnetice:

Antena – **dipol semiundă** – este alcătuită din două tije metalice conectate la un circuit electronic (transmițător) care produce un curent alternativ de înaltă frecvență, aplicat antenei.

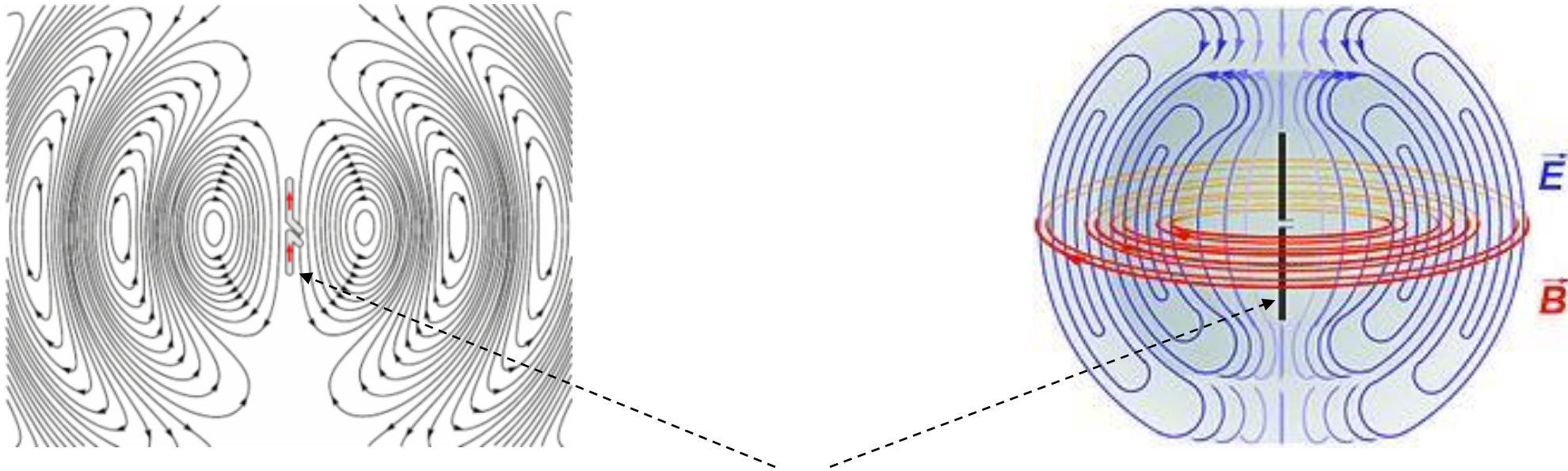
Lungimea antenei: $l = \frac{\lambda}{2}$

<https://en.wikipedia.org/wiki/Transmitter>



Emisia și recepția undelor electromagnetice. Antena

Emisia undelor electromagnetice:



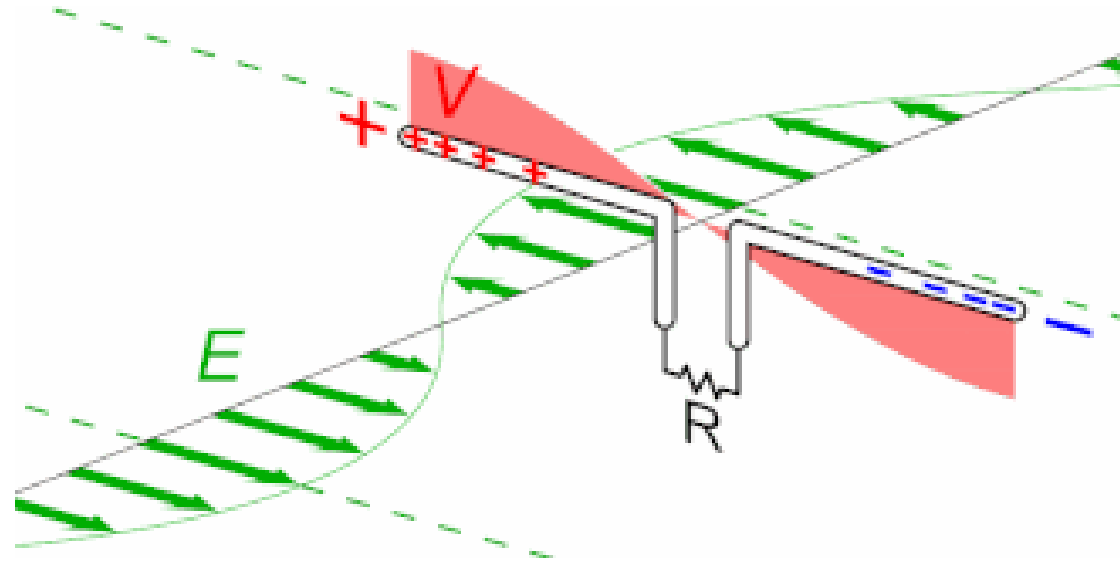
DIPOL SEMIUNDĂ

Lungimea antenei: $l = \frac{\lambda}{2}$

[https://en.wikipedia.org/wiki/Antenna_\(radio\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Antenna_(radio))

Emisia și recepția undelor electromagnetice. Antena

Recepția undelor electromagnetice:

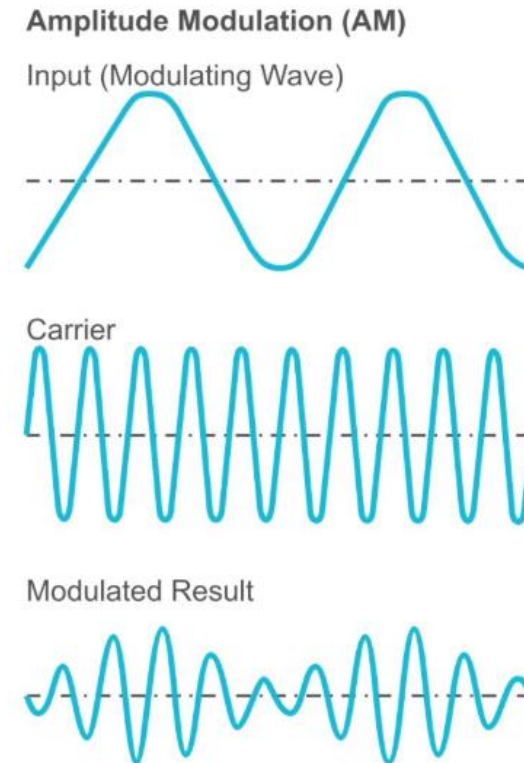


[https://en.wikipedia.org/wiki/Antenna_\(radio\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Antenna_(radio))

Aplicații

1) **Radioul** – folosește undele radio pentru a transmite informația sonoră prin două modalități principale:

a) Modulația de amplitudine (AM) – constă în varierea amplitudinii unei purtătoare în funcție de amplitudinea semnalului sonor. Este cea mai veche și simplă metodă de telecomunicație prin unde radio.

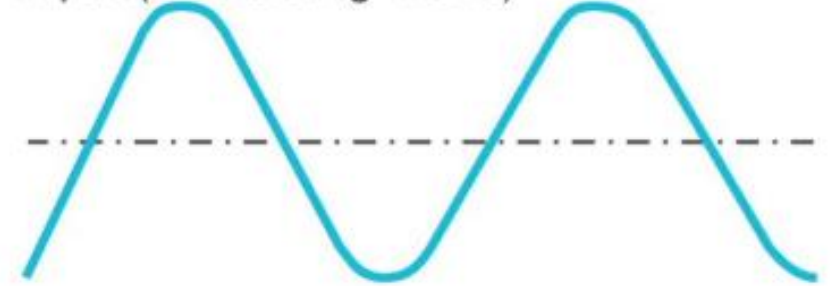


1. modulație = modificarea caracteristicilor unei unde pentru a transmite un semnal purtător de informații

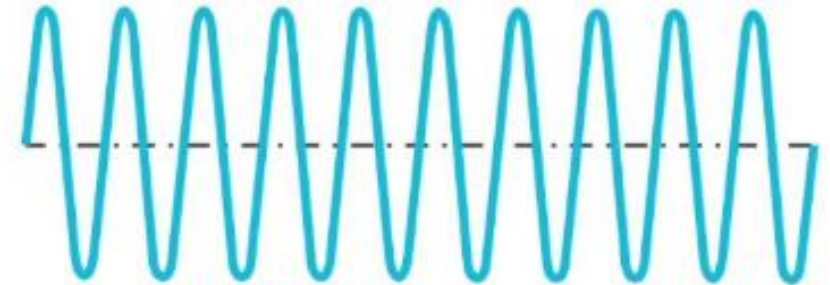
b) Modulația de frecvență (FM) – constă în modificarea frecvenței unei purtătoare, într-un interval destul de mic, în funcție de amplitudinea semnalului sonor. În prezent, majoritatea stațiilor radio emit semnale FM sau digitale deoarece semnalele AM sunt afectate de interferență (orice mică variație a profilului de amplitudine – din cauza unei furtuni, de exemplu – rezultă în zgomot de fundal).

Frequency Modulation (FM)

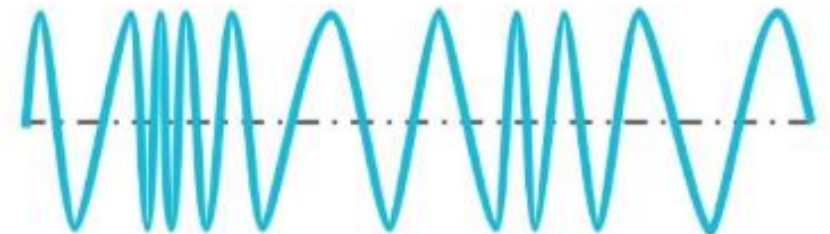
Input (Modulating Wave)



Carrier



Modulated Result



2) Radiografiile – prin folosirea razelor X (unde electromagnetice de frecvență foarte mare) este posibilă fotografierea unor părți interne ale corpului omenesc, în special a oaselor.



Radiografia mâinii soției lui Röntgen (1895)

Referințe

- https://www.walter-fendt.de/html5/phro/oscillatingcircuit_ro.htm
- [https://ro.wikipedia.org/wiki/Atenă_\(radio\)](https://ro.wikipedia.org/wiki/Atenă_(radio))
- <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:EM-Wave.gif>
- <https://www.radioamator.ro/articole/view.php?id=883>
- [https://en.wikipedia.org/wiki/Antenna_\(radio\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Antenna_(radio))
- <https://en.wikipedia.org/wiki/Transmitter>