

# CURENTUL ALTERNATIV

## 1. PRODUCEREA CURENTULUI ALTERNATIV

Fenomenul de inducție electromagnetică se bazează pe variația unui flux magnetic care are drept consecință apariția unei tensiuni electromagnetice alternative proporționale cu viteza de variație acestui flux

$$\Delta\phi = \Delta(BS \cdot \cos \alpha) = \underbrace{(\Delta B) \cdot S \cdot \cos \alpha}_{\text{variația câmpului magnetic (miscarea miezului magnetic)}} + \underbrace{B \cdot (\Delta S) \cdot \cos \alpha}_{\text{variația suprafeței câmpului magnetic (deplasarea unui conductor în câmp)}} - \underbrace{BS \cdot \sin \alpha}_{\text{variația } \alpha \text{ (rotirea unei bobine)}}$$

Considerând o bobină de suprafață  $S$  care se rotește într-un câmp magnetic constant de inducție  $B$ , va avea loc apariția unei tensiuni alternative sinusoidale date de relația:

$$e = - \frac{\Delta\phi}{\Delta t} = E_{\max} \sin(\omega t + \varphi_0) = \omega$$

$$\Delta B = 0, \Delta S = 0, \frac{d\alpha}{dt} = \frac{d}{dt} (\omega t + \varphi_0) = \omega$$

$$E_{\max} = \omega NBS = \omega \phi_{\max}, N - \text{nr de spire}$$

$$e = E_{\max} \cdot \sin(\omega t + \varphi_0) - \text{tensiune alternativă instantanee}$$

$$i = I_{\max} \sin(\omega t + \varphi_0) - \text{intensitatea curentului indus în spire}$$

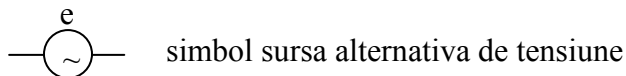
Aparatele de măsură vor măsura valorile efective ale tensiunii și intensității:

$$U = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}} \text{ și } I = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}}$$

Rezultă pentru tensiunea și curentul indus expresiile:

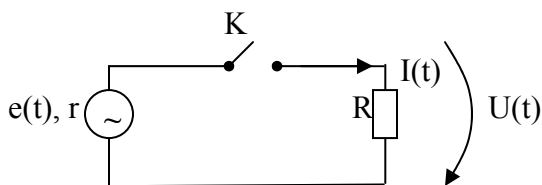
$$u = \sqrt{2} U \sin(\omega t + \varphi_0)$$

$$i = \sqrt{2} I \sin(\omega t + \varphi_0)$$



## 2. CIRCUITE ELEMENTARE DE C.A.

### Rezistorului ideal in curent alternativ



$$u(t) = U_{\max} \sin(\omega t + \varphi_{0u})$$

$$i(t) = I_{\max} \sin(\omega t + \varphi_{0i})$$

$$I_{\max} = \frac{U_{\max}}{R} ; \varphi_{0u} = \varphi_{0i} \Rightarrow \Delta\varphi = 0$$

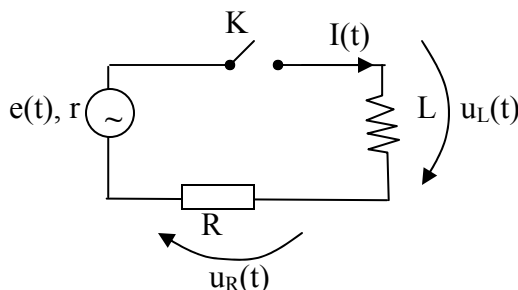
Tensiunea si intensitatea instantanee sunt in faza (decalajul  $\Delta\varphi = \varphi_{0u} - \varphi_{0i} = 0$ ). Rezistenta rezistorului ideal face ca  $u(t)$  si  $i(t)$  sa fie in aceeasi faza

$$R = \frac{U}{I}$$

### Bobina ideala in c.a.

Bobina ideala  $\Rightarrow$  rezistenta 0

$$u_L(t) = L \cdot \frac{di}{dt} \Rightarrow i(t) = \frac{1}{L} \int_0^t u_L(t) dt$$



Pentru  $i(t) = I_{\max} \sin(\omega t + \varphi_{0i}) \Rightarrow u_L(t) = U_{\max} \sin(\omega t + \varphi_{0u})$

$$u_L(t) = \omega L I_{\max} \cos(\omega t + \varphi_{0i}) = \omega L I_{\max} \sin(\omega t + \varphi_{0i} + \frac{\pi}{2})$$

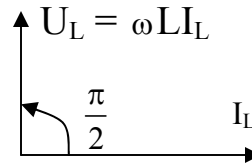
$$\Rightarrow U_{\max} = \omega L I_{\max}$$

$$\varphi_{0u} = \varphi_{0i} + \frac{\pi}{2} \rightarrow \Delta\varphi = \frac{\pi}{2}$$

intensitatea este defazata in urma tensiunii cu  $\frac{\pi}{2}$

$X_L = \omega L$  se numeste reactanta inductiva

$$X_L = \frac{U_{\max}}{I_{\max}} = \frac{U_L}{I_L}$$



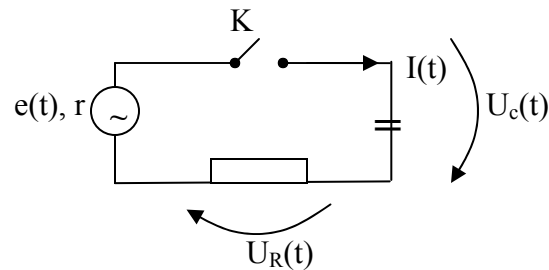
Dacă  $\nu$  e frecvența curentului alternativ (de ex. 50 HZ) și  $L$  inductanța unei bobine, atunci reactanța inductivă va fi:  $X_L = 2\pi\nu L$

Bobina reală într-un circuit de c.a. introduce o rezistență aparentă care conduce la scăderea intensității prin circuit.

### Condensatorul ideal în c.a.

Condensatorul ideal  $\rightarrow$  rezistență  $\infty$

$$i(t) = C \frac{du_c}{dt}$$



$$u_c(t) = U_{\max} \sin(\omega t + \varphi_{ou})$$

$$u_i(t) = I_{\max} \sin(\omega t + \varphi_{oi})$$

$$U_c(t) = \frac{1}{C} \int_0^t i(t) dt$$

$$i(t) = CU_{\max} \cdot \omega \cos(\omega t + \varphi_{ou}) = \omega CU_{\max} \sin(\omega t + \varphi_{ou} + \frac{\pi}{2})$$

$$\rightarrow I_{\max} = \omega CU_{\max}$$

$$\varphi_{oi} = \varphi_{ou} + \frac{\pi}{2} \rightarrow \Delta\varphi = -\frac{\pi}{2}$$

Intensitatea este defazată înaintea tensiunii cu  $\frac{\pi}{2}$

$$X_C = \frac{1}{\omega C} \quad \text{se numeste reactanta capacitiva}$$

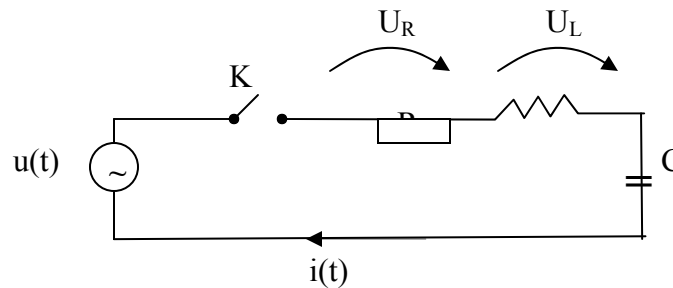
$$X_C = \frac{U_{\max}}{I_{\max}}$$

$$\langle X_C \rangle = \frac{V}{A} = \Omega(\text{ohm})$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi\nu C}$$

### 3.CIRCUITUL RLC SERIE DE CURENT ALTERNATIV

Un circuit alcuituit dintr-un rezistor, o bobina si un condensator legate in serie:



Intensitatea instantanee a curentului:

$$i(t) = I_{\max} \sin(\omega t + \varphi_{oi}); \quad \varphi_{oi} = 0$$

Scriind K II in circuit :

$$u(t) = u_R(t) + u_L(t) + u_C(t)$$

$$u = RI_{\max} \sin \omega t + X_L I_{\max} \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) + X_C I_{\max} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

fazorial:  $\underline{U} = R\underline{I} + j\omega L\underline{I} + \frac{1}{j\omega C}\underline{I}$

$$\underline{U} = [R + j(\omega L - \frac{1}{\omega C})]\underline{I}$$

diferentialul  $u(t) = Ri(t) + L \frac{di(t)}{dt} + \frac{1}{C} \int_0^t i(t) dt$

$$\underline{Z} = R + j(X_L - X_C) - \text{impedanta circuitului serie RLC}$$

$$\underline{X}_L = j\omega L - \text{reactanta inductiva}$$

$$\underline{X}_C = \frac{1}{j\omega C} - \text{reactanta capacitiva}$$

$$\underline{U}_R = R\underline{I} \rightarrow u_R \text{ si } i \text{ sunt in faza}$$

$$\underline{U}_L = \underline{X}_L \underline{I} \rightarrow u_L \text{ si } i \text{ defazate cu } \frac{\pi}{2}$$

$$\underline{U}_C = \underline{X}_C \underline{I} \rightarrow u_C \text{ si } i \text{ defazate cu } \frac{\pi}{2}$$

$$U^2 = U_R^2 + (U_L - U_C)^2$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

**Defazajul** dintre tensiune si curent va fi:

$$\text{tg } \varphi = \frac{X_L - X_C}{R} \Rightarrow \varphi = \text{arctg} \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}$$

Expresia tensiunii va fi :

$$u(t) = Z I_{\max} \sin(\omega t + \varphi)$$

In marimi efective:  $U = Z \cdot I$

Daca  $\varphi > 0 \Rightarrow X_L > X_C$  si circuitul se comporta inductiv

Daca  $\varphi < 0 \Rightarrow X_C > X_L$  si circuitul se comporta capacitiv

Daca  $\varphi = 0 \Rightarrow X_C = X_L$  comportare rezistiva  $\rightarrow$  avem rezonanta

$$\omega L = \frac{1}{\omega C} \Rightarrow \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \text{pulsatie de rezonanta}$$

**Frecventa de rezonanta:**

$$v_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

**Intensitatea e maxima:**

$$I_0 = \frac{U}{D}, \text{ impedanta minima } Z = R$$

**Factorul de calitate al circuitului rezonant (supratensiune)**

$$Q = \left. \frac{\omega_0}{U} \right|_{\omega = \omega_0} = \left. \frac{U_C}{U} \right|_{\omega = \omega_0} \quad \text{sau} \quad \boxed{\begin{array}{l} U_L = X_L \cdot I_0 \\ U_C = X_C \cdot I_0 \\ U = R \cdot I_0 \end{array}}$$

$$Q = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{1}{\omega_0 RC} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

**Impedanta caracteristica:**  $Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} \Rightarrow Q_s = \frac{Z_0}{R}$

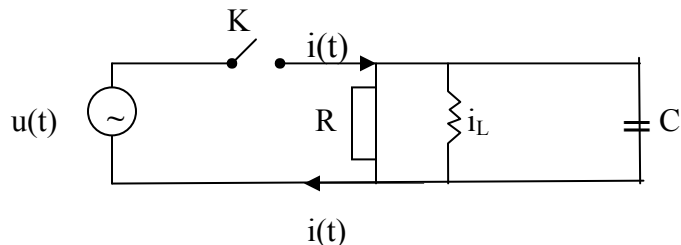
Observatii:

- pentru frecventa  $\nu < \nu_0$  avem  $\varphi < 0 \Rightarrow$  circuit capacitiv
- pentru frecventa  $\nu > \nu_0$  avem  $\varphi > 0 \Rightarrow$  circuit inductiv
- la frecventa  $\nu = \nu_0$  avem  $\varphi = 0 \Rightarrow$  circuit rezitiv

#### 4. CIRCUITUL RLC PARALEL IN CURENT ALTERNATIV

Este un circuit alcatuit dintr-un rezistor, o bobina si un conductor legate in paralel. Tensiunea instantanee a curentului este aceeași pe toate componentele.

$$u(t) = U_{\max} \sin(\omega t + \varphi_{ou})$$



consideram  $\varphi_{ou} = 0$  (referinta)

scriind KI avem:  $i(t) = i_R(t) + i_L(t) + i_C(t)$

$$i = \frac{U_{R\max}}{R} \sin \omega t + \frac{U_{\max}}{X_L} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) + \frac{U_{\max}}{X_C} \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

Fazorial vom scrie:

$$\underline{I} = \frac{\underline{U}}{R} + \frac{\underline{U}}{j\omega L} + j\omega C \underline{U}$$

$$\underline{I} = \left[ \frac{1}{R} + j\left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right) \right] \underline{U} = \underline{Y} \underline{U}$$

$$Y = \frac{1}{R} + j\left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right) - \text{admitanta circuitului}$$

### Factorul de calitate al circuitului rezonant (supratensiune)

$$Q_p = \frac{I_L}{I} \Big|_{\omega = \omega_0} = \frac{I_C}{I} \Big|_{\omega = \omega_0} \Rightarrow I_L \Big|_{\omega = \omega_0} = I_C \Big|_{\omega = \omega_0}$$

$$Q_p = \frac{R}{\omega_0 L} = \omega_0 RC = R \sqrt{\frac{R}{Z_0}} = \frac{R}{Z} ; Z_0 = \text{impedanta caracteristica}$$

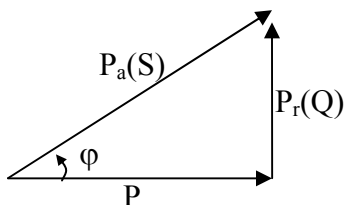
In functie de frecventa  $\nu$  a oscilatiei avem:

- pentru frecventa  $\nu > \nu_0$  avem  $\varphi < 0 \Rightarrow$  circuit capacitiv
- pentru frecventa  $\nu < \nu_0$  avem  $\varphi > 0 \Rightarrow$  circuit inductiv
- la frecventa  $\nu = \nu_0$  avem  $\varphi = 0 \Rightarrow$  circuit rezitiv (rezonanta)

$$\varphi = \arctg \frac{R}{\omega L} \left[ 1 - \left( \frac{\omega}{\omega_0} \right)^2 \right]$$

## 5.PUTEREA IN CIRCUITELE DE C.A.

### Triunghiul puterilor



### Puterea activa – disipata pe rezistor

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{UI} \text{ factor de putere}$$

$$\langle P_r \rangle_{SI} = \langle U \rangle_{SI} \cdot \langle I \rangle_{SI} = W \text{ (Watt)}$$

**Puterea reactiva** – utilizata de bobina si condensator pentru generarea campurilor magnetice si respectiv electrice.

$$P_r = U \cdot I \cdot \sin \varphi$$

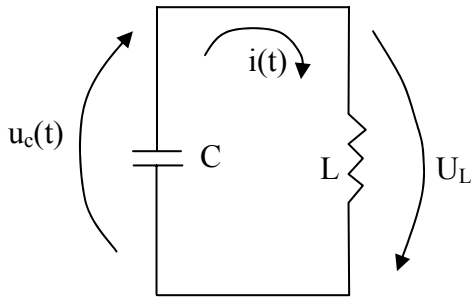
$$\langle P_r \rangle_{SI} = 1 \text{ var (voltmetru reactiv)}$$

**Puterea aparenta** – data de energia transferata circuitului de catre generatorul de C.A. in unitatea de timp.

$$P_a = U \cdot I$$

$$\langle P_a \rangle_{SI} = \text{VA (voltamper)}$$

## 6. CIRCUITUL OSCILANT LC



Intr-un circuit format din bobina si condensator se produc fenomene oscilatorii. Oscilatiile electromagnetice ale campului magnetic si electric. Intr-un circuit LC cu componente ideale se produc oscilatii cu amplitudine constanta. Intr-un circuit LC real, oscilatiile sunt amortizate sau aperiodice datorita rezistentei interne a circuitului.

$$U_L(t) + U_C(t) = 0$$

$$L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int_0^t i(t) dt = 0$$

Inlocuind  $i(t) = \frac{dq}{dt}$  si  $\omega^2 = \frac{1}{LC}$  avem :

$$\frac{d^2q}{dt^2} + \omega^2 q = 0 \rightarrow q(t) = Q_m \sin(\omega t + \varphi)$$

**Pulsatia:**  $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ ; **perioada:**  $T_0 = 2\pi\sqrt{LC}$



Pentru intensitate:  $i(t) = I_{\max} \sin(\omega_0 t + \varphi + \frac{\pi}{2}) \Rightarrow$  defazaj de  $\frac{\pi}{2}$

### Energia

Intr-un circuit oscilant LC energia electromagnetica se conserva

$$E = W_{el} + W_{mag} = ct$$

$$E = \frac{q^2(t)}{2C} + L \frac{i^2(t)}{2} = \text{const}$$

$$E = \frac{Q_0^2}{2C} = L \frac{I_{\max}^2}{2}$$

## 7. UNDE ELECTROMAGNETICE

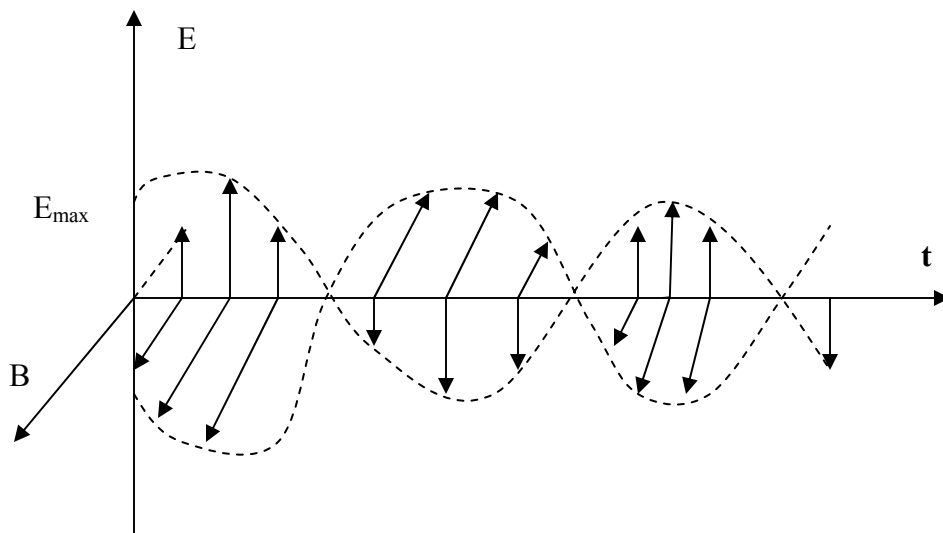
**Campul electromagnetic:** este ansamblul camp electric variabil – camp magnetic variabil care se genereaza reciproc.

**Unda electromagnetica:** reprezinta orice perturbatie a campului electromagnetic care se propaga.

$$\text{viteza in vid : } c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\text{viteza intr-un mediu oarecare: } v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \mu}} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r \mu_r}}$$

Unda electromagnetica este o unda transversala



$$\boxed{\vec{E} = \vec{B} \times \vec{v}} \quad \text{sau} \quad \boxed{E = B \cdot v}$$

Unda electromagneticica nu are nevoie de un mediu suport pentru a se propaga

Unda electromagneticica transporta energie cu densitatile:

$$w_{el} = \frac{1}{2} \epsilon E^2 \quad \text{si} \quad w_{mag} = \frac{1}{2} \mu H^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{B^2}{\mu}$$

H = intensitatea campului magnetic

$$B = \mu H$$

Dependenta in timp

$$E(t) = E_{max} \sin \omega t$$

$$H(t) = H_{max} \sin \omega t$$

Ecuatiile undei electromagnetice plane:

$$E(x,t) = E_{max} \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$$

$$H(x,t) = H_{max} \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$$

Clasificarea undelor electromagnetice:

1. unde radio:  $\lambda \in [10 \text{ cm}, 10 \text{ km}]$ ,  $\nu \in [10 \text{ Hz}, 1 \text{ GHz}]$

- se utilizeaza in transmisii radio si tv

- unde lungi [0,6 – 2 km]
- unde medii [100 – 600 m]
- unde scurte [10 – 100 m]
- unde ultrascurte [1 – 10 cm]

2. microunde:  $\lambda \in [1 \text{ mm}, 30 \text{ cm}]$ ,  $\nu \in [1 \text{ GHz}, 3 \cdot 10^{11} \text{ Hz}]$

- sunt generate ca si unde radio de instalatii electrice si se folosesc in sisteme detelecomunicatii, in radar si in cercetarea stiintifica, la studiul proprietatilor atomilor, moleculelor si gazelor ionizate. Se mai impart in unde decimetrice, centimetrice si milimetrice.

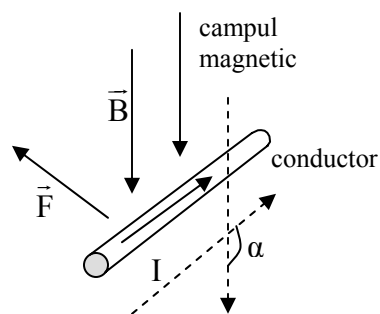
3. radiatia infrarosie :  $\lambda \in [ 760 \text{ nm}, 1 \text{ mm}]$ ,  $\nu \in [ 3 \cdot 10^{11} \text{ Hz}, 4 \cdot 10^{14} \text{ Hz}]$   
- sunt produse de corpurile incalzite  
 $\exists$  si instalatii electronice care emit unde cu lungimi submilimetru.
4. radiatia vizibila :  $\lambda \in [ 390 \text{ nm}, 760 \text{ nm}]$
5. radiatia ultravioleta (UV) :  $\lambda \in [ 1 \text{ nm}, 390 \text{ nm}]$   
- sunt generate de mplecule si atomii ce participa la o descarcare electrica in gaze. Soarele este o sursa puternica de radiatii
6. radiatia x (Röntgen):  $\lambda \in [ 1 \text{ nm}, 1 \text{ nm}]$   
- sunt produse in tuburi speciale in care un fascicul de electroni accelerat cu ajutorul unei tensiuni electrice de ordinul zecilor de mii de volti, bombardeaza un electrod.
7. radiatia  $\gamma$  :  $\lambda < 0,1 \text{ nm}$   
- este produsa de nucleele atomilor

## ELECTROMAGNETISM

### 1.Campul magnetic

**Campul magnetic** reprezinta o caracteristica a spatiului din jurul anumitor corpuri, care se manifesta prin interactiuni magnetice (atrageri sau respingeri) asupra magnetilor, conductelor parcurse de curent electric sau a particulelor incarcate cu sarcina electrica aflata in miscare.

O caracteristica a campului magnetic o reprezinta intensitatea campului magnetic – notata cu  $\vec{H}$  sau inductia campului magnetic ( $\vec{B} = \mu \vec{H}$ ), marimi fizice vectoriale tangente in orice punct la liniile de camp magnetic.



**Forța electromagnetică** – reprezintă forța exercitată de un câmp magnetic asupra unui conductor parcurs de curent electric, aflat în acel câmp

$$\vec{F} = I(\vec{r} \times \vec{B})$$

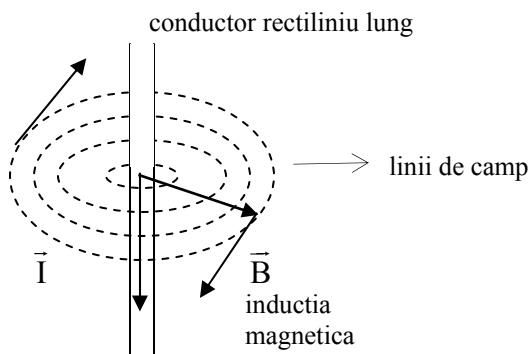
$\vec{r}$  - descrie sensul curentului printr-un conductor rectiliniu de lungime  $l$  și care face unghiul  $\alpha$  cu liniile de câmp magnetic.

$$F = B \cdot I \cdot l \cdot \sin \alpha$$

Din produsul vectorial  $\vec{r} \times \vec{B}$  rezultă că forța electromagnetică  $\vec{F}$  este  $\perp$  atât pe direcția conductorului (dată de  $\vec{r}$ ) și pe liniile de câmp magnetic (direcția dată de vector). Sensul forței electromagnetice se stabilește cu ajutorul regulii mâinii stângi. Pentru  $\alpha = 90^\circ$  (conductor perpendicular pe liniile de câmp magnetic)

$$F = B \cdot I \cdot l \Rightarrow B = \frac{F}{I \cdot l}$$

## Câmpul magnetic produs de curenți staționari



Un conductor rectiliniu (de lungime  $\infty$ ) străbătut de un curent electric de intensitate  $I$ , produce în jurul lui un câmp magnetic circular.

Vectorul inducție magnetică  $\vec{B}$  este tangent la liniile de câmp magnetic

și are valoarea 
$$B = \frac{\mu I}{2\pi r}$$

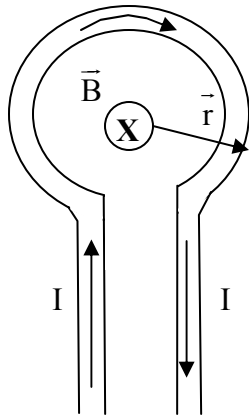
$$\mu = \mu_r \cdot \mu_0$$

$\mu$  - permeabilitatea magnetică a mediului în care se află conductorul;  
 $r$  - distanța de la conductor la vectorul  $\vec{B}$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{T} \cdot \text{m}}{\text{A}} = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{N}}{\text{A}^2}, \left(\frac{\text{H}}{\text{m}}\right) \text{ H (Henry)}$$

- este permeabilitatea magnetica a vidului
- $\mu_r$  - permeabilitatea magnetica relativa a mediului

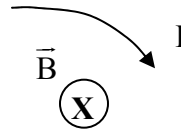
### Campul magnetic produs in centrul unei spire



Un condensator circular (spira) strabatut de un curent electric I produce in interiorul spirei un camp magnetic. In centrul spirei vectroul inductie magnetica  $\vec{B}$  este  $\perp$  pe suprafata descrisa de spira si are valoarea:  $B = \mu \frac{I}{2r}$ , unde r este raza spirei

Sensul vectorului inductie magnetica este dat si in acest caz de regula burghiului (sensul de rotatie fiind dat de sensul curentului).

pentru N spire vom avea:  $B = \mu N \frac{I}{2r}$

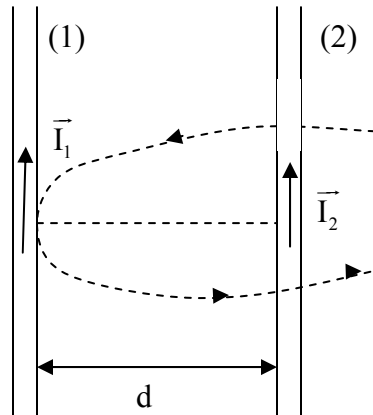


### Campul magnetic din interiorul unui solid

Inductia magnetica a campului magnetic produs in centrul unui solenoid de lungime l, avand N spire, parcurs de un curent de intensitate I este:

$$B = \mu \frac{N \cdot I}{l}$$

### Forta electrodinamica



Doua conductoare paralele parcurse de curenti electrici interactioneaza. Ele se atrag daca curentii prin cele doua conductoare sunt de acelasi sens sau se resping daca curentii prin cele doua conductoare au sensuri diferite. Forța cu care cele doua conductoare interactioneaza este numita forța electromagnetica

și are valoarea:  $F = \mu \frac{I_1 I_2 l}{2\pi d}$  ;  $d \ll l$

unde:  $l$  - lungimea comuna a conductoarelor  
 $d$  - distanta dintre conductoare

### Forța Lorentz

Forța Lorentz este o forța exercitata de un camp magnetic asupra unei particule incarcate cu sarcina electrica  $q$  afata in miscare cu viteza  $\vec{v}$  in campul magnetic uniform de inducție  $\vec{B}$

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

Traectoria particulei este circulara  $F_L$  se comporta ca o forța centripeta

$$F_L = |q|vB = m \frac{v^2}{r} = E_{cp}$$

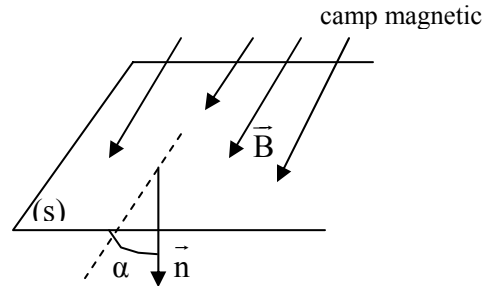
Din aceasta relatie rezulta:

- raza traectoriei  $r = \frac{mv}{|q|B}$
- perioada miscarii circulare in campul magnetic:  $T = \frac{2\pi m}{|q|B}$
- frecventa:  $\nu = \frac{1}{T} = \frac{|q|B}{2\pi m}$
- pulsatia:  $\omega = 2\pi\nu = \frac{|q|B}{m}$
- deviatia totala pentru campuri magnetice inguste sau slabe

$$\Delta y = r - \sqrt{r^2 - d^2}$$

## Fluxul magnetic. Inductia electromagnetica

$$\phi = \vec{B} \vec{S} = BS \cos \alpha$$



$\vec{n}$  normala la suprafata

**Fluxul magnetic** este dat de produsul scalar dintre vectorul inductie magnetica si vectorul  $\vec{S} = S\vec{n}$  dat de o suprafata de arie S a carei normala face un unghi  $\alpha$  cu liniile de camp magnetic.

$$\langle \phi \rangle_{SI} = \langle B \rangle_{SI} \langle S \rangle_{SI} = T \cdot m^2 = W_0 \text{ (weber)}$$

**Inductia electromagnetica** este fenomenul de producere a unei tensiuni electromotoare induse (e) intr-un circuit deschis sau a unui curent electric indus intr-un circuit inchis aflat intr-un camp magnetic.

$$\text{Legea inductiei electromagnetice } e = -\frac{\Delta \phi}{\Delta t}$$

Tensiunea electromotoare indusa intr-un circuit electric strabatut de un flux magnetic variabil e direct proportional cu viteza de variatie a fluxului magnetic

### Regula lui Lentz

Curentul electric indus are un astfel de sens incat prin efectele sale sa se opuna cauzei care il produce.

$$\text{Tensiunea electromotoare indusa: } |e| = B \cdot l \cdot v \cdot \sin \alpha$$

$\alpha$  – unghiul dintre  $\vec{v}$  si  $\vec{B}$

$$v = \frac{\Delta x}{dt} \text{ viteza conductorului}$$

l – lungimea conductorului

### Autoinductia. Legea autoinductiei

- Fenomenul de inducție electromagnetică în care câmpul inductor este câmpul magnetic propriu.
- Fenomenul de inducție electromagnetică produs într-un circuit datorită variației intensității curentului din acel circuit

Un exemplu îl constituie autoinducția produsă la o bobină în momentul întreruperii (sau deschiderii) circuitului. O variație a intensității curentului determină o variație a fluxului magnetic prin bobină, ceea ce duce la apariția unei tensiuni electromotoare induse care generează un curent indus.

$$\phi = L \cdot I$$

$$\langle L \rangle = \frac{W_b}{A} = H \text{ (Henry)}$$

L – inductanța bobinei  
 $\phi$  - flux magnetic propriu  
 I – intensitatea curentului care produce fluxul

Pentru un solenoid:  $L = \mu \frac{N^2 S}{l}$

N – nr de spire  
 l - lungimea solenoidului  
 S – aria secțiunii solenoidului

### Legea autoinducției

$$e = -L \frac{dI}{dt}$$

Tensiunea electromotoare autoindusă (e) este direct proporțională cu viteza de variație a intensității curentului din acel circuit

### Energia câmpului magnetic

$$W_m = \frac{1}{2} LI^2 ;$$

### Densitatea de energie

$$W_m = \frac{dW}{dv} = \frac{B^2}{2\mu} ; B = \mu \frac{Ni}{l}$$