

CURS 2

Legile fundamentale ale câmpului electromagnetic

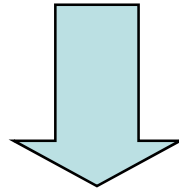
CONTINUT

- ☐ **Câmpul magnetic**
 - **Câmpul magnetic in vid**
 - **Forta electromagnetica**
 - **Surse electrice de câmp magnetic**
 - ☐ **Câmpul magnetic creat de un conductor rectiliniu parcurs de curent**
 - ☐ **Câmpul magnetic creat de un solenoid**
 - ☐ **Câmpul magnetic in corpuri**
- ☐ **Regimuri fundamentale ale electrodinamicii**
 - **Legea fluxului magnetic**
 - **Legea inducției electromagnetice**
 - **Legea circuitului magnetic**

Câmpul magnetic

Materialele în prezenta cărora se exercită forțe și cupluri ce nu pot fi explicate mecanic, termic sau electric = **MAGNETI**.

1820 – Oersted → În jurul conductoarelor parcurse de curenți electrici de conducție se exercită acțiuni de natură celor din apropierea magneților → există o **stare de magnetizare**.



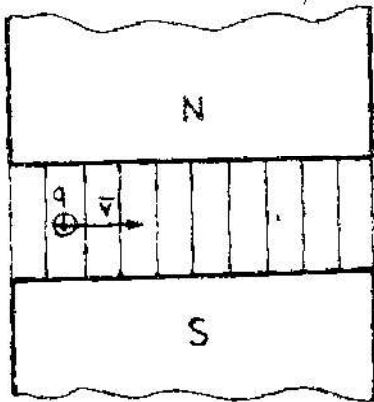
Câmp magnetic:

- sistemul fizic din jurul corpurilor magnetizate și din interiorul lor;
- forma de existență a materiei diferită de substanță, prin care se exercită acțiuni asupra corpurilor parcurse de curenți electrici de conducție.

Camp magnetic in vid

Experiment:

- Magnet plasat in aer, intre poli (Nord si Sud) se deplasează cu viteza constanta (v) un corp încărcat cu sarcina electrica (q);
- In prezenta unui magnet apar **liniile de câmp magnetic**;
- Liniile de câmp magnetic unesc polii magnetului si sunt perpendiculare pe suprafețele polilor.



Asupra corpului se exercita o forta → se definește **inducția magnetică**:

$$B_v = \frac{F}{q \cdot v}$$

Unitate de măsură: **Tesla [T]**

Camp magnetic in vid

Modificarea direcției de mișcare $\rightarrow \overline{B}_v$ mărime vectorială:

$$\overline{F} = q \cdot (\overline{v} \times \overline{B}_v) \quad \text{- Forta lui Lorentz}$$

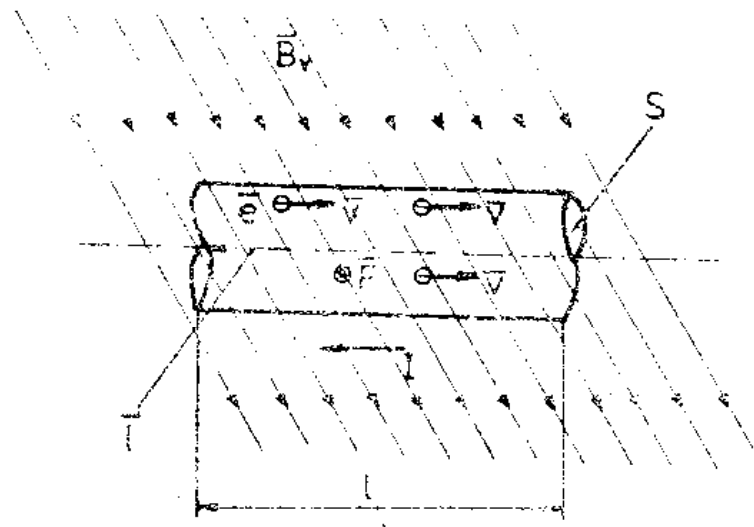
Intensitatea câmpului magnetic – caracterizează câmpul magnetic.

In vid si in aer: $\overline{H}_v = \frac{\overline{B}_v}{\mu_0} ; \quad \mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \quad [\text{H/m}]$

Linii de câmp magnetic = acele linii permanent tangente la vectorul inducție magnetică \overline{B}_v .

Forța electromagnetica

Se considera o porțiune de lungime (l) dintr-un conductor metallic rectiliniu străbătut de curentul (I) și situat într-un câmp magnetic omogen de inducție B_v .



Forța ce se exercită asupra porțiunii de conductor = **forța electromagnetica.**

$$\vec{F} = I \cdot (\vec{l} \times \vec{B}_v)$$

Surse electrice de câmp magnetic

Se definesc următoarele noțiuni:

- tensiune magnetica
- tensiune magnetomotoare
- solenație

Tensiune magnetica = circulația vectorului intensitatea câmpului magnetic pe o porțiune de curba (C)

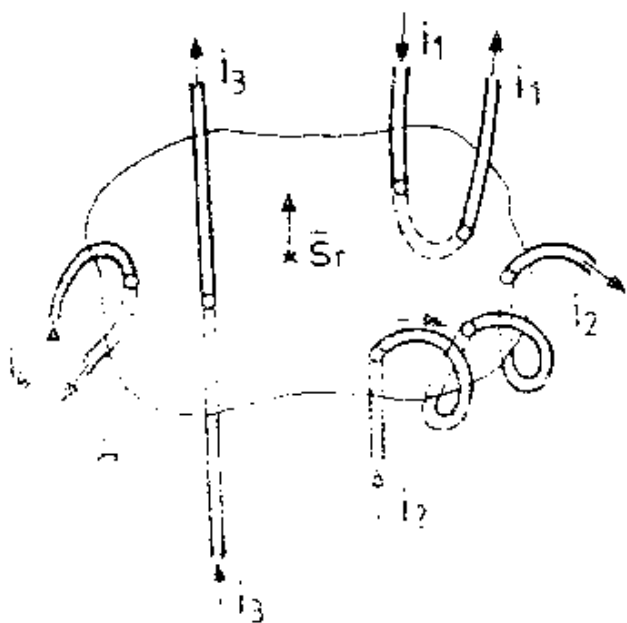


Tensiune magnetomotoare = circulația vectorului intensitatea câmpului magnetic in lungul unei curbe închise Γ .

$$u_{mm} = \oint_{\Gamma} \vec{H} \cdot d\vec{l} \quad [A]$$

Surse electrice de câmp magnetic

Solenația = curentul de conducție total al unei suprafețe deschise S_Γ .

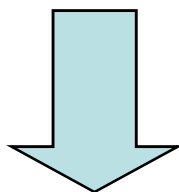


$$\begin{aligned}\theta &= \int_{S_\Gamma} \vec{J} \cdot \vec{dS} = -i_1 + i_1 + i_2 + i_2 + i_2 + i_3 - i_4 \\ &= 3i_2 + i_3 - i_4\end{aligned}$$

$$\theta = \sum_{S_\Gamma} w_k \cdot i_k \quad [A]$$

Surse electrice de câmp magnetic

Cu ajutorul noțiunilor introduse se poate enunța **Teorema lui Ampere:**



În regim staționar tensiunea magnetomotoare în lungul curbei închise (Γ) = cu solenația datorată curenților ce străbat suprafața (S_Γ) mărginită de curba (Γ).

$$\oint_{\Gamma} \overline{H} \cdot d\overline{l} = \oint_{S_\Gamma} \overline{J} \cdot d\overline{S} = \sum_{S_\Gamma} w_k \cdot i_k$$

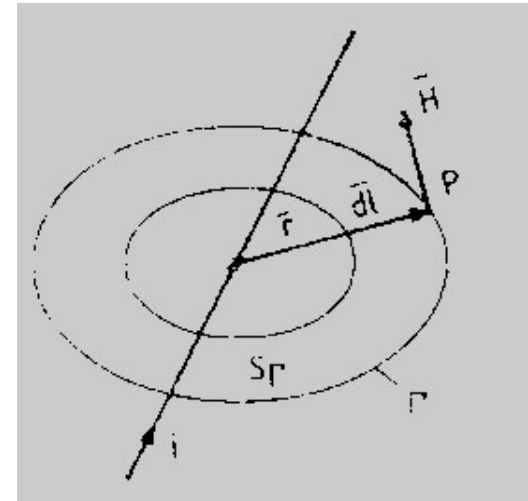
Câmp magnetic creat de un conductor rectiliniu parcurs de curent

Se considera conductorul filiform, rectiliniu,
parcurs de curentul (i) plasat in aer.

$$\oint_{\Gamma} \overline{H} \cdot \overline{dl} = i$$

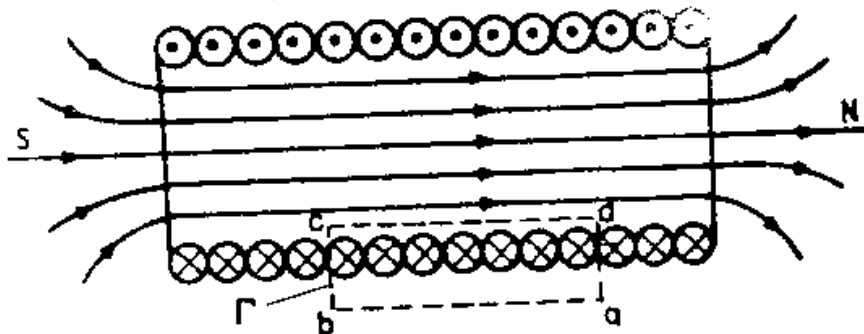
$$\oint_{\Gamma} \overline{H} \cdot \overline{dl} = H \oint_{S_{\Gamma}} dl = H \cdot 2 \cdot \pi \cdot r$$

$$H = \frac{i}{2 \cdot \pi \cdot r} \longrightarrow B = \mu_0 \cdot H = \mu_0 \cdot \frac{i}{2 \cdot \pi \cdot r}$$



Câmp magnetic creat de un solenoid

Solenoid = infasurarea pe un suport cilindric în spirală, spira lângă spira a unui conductor filiform (izolat electric).



$$\oint_{\Gamma} \overline{H} \cdot \overline{dl} = \theta$$

$$\oint_{\Gamma} \overline{H} \cdot \overline{dl} = \int_a^b \overline{dH} \cdot \overline{dl} + \int_b^c \overline{dH} \cdot \overline{dl} + \int_c^d \overline{dH} \cdot \overline{dl} + \int_d^a \overline{dH} \cdot \overline{dl}$$

Câmp magnetic creat de un solenoid

Datorita faptului ca:

- in interiorul solenoidului, toate câmpurile magnetice se însumează, câmpul rezultat fiind intens;
- in exteriorul solenoidului, câmpul create sunt de sens contrar, câmpul rezultat fiind slab;
- intre elementele alăturate, câmpul rezultat este nul.

$$\oint_{\Gamma} \overline{H} \cdot d\overline{l} = \int_c^d d\overline{H} \cdot d\overline{l} = H \cdot l_{cd}$$

$$H \cdot l = w \cdot i \longrightarrow H = \frac{w \cdot i}{l} \longrightarrow B = \mu_0 \frac{w \cdot i}{l}$$

Câmp magnetic in corpuri

În funcție de modul de comportare al corpurilor în prezența unui câmp magnetic, materialele se clasifică în:

- **diamagnetice;**
- **paramagnetice;**
- **feromagnetice.**

Comportarea materialelor în câmp magnetic se caracterizează cu ajutorul **permeabilității materialului**:

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

The diagram illustrates the components of the permeability equation. A vertical arrow points from μ_r down to the text "permeabilității relative a materialului, (mărime adimensională)". A horizontal arrow points from μ_0 to the text "permeabilitatea vidului".

permeabilitatea vidului

permeabilității relative a materialului,
(mărime adimensională)

Câmp magnetic in corpuri

Materiale diamagnetice = sunt materialele la care μ_r este subunitara.

$\mu_r \cong 1$ **Exemple:** cuprul, argintul, mercurul, zincul si apa.

Materiale paramagnetice = sunt materialele la care μ_r este crescută.

$\mu_r = 1$ **Exemple:** aluminiul, platina, cromul, azotul.

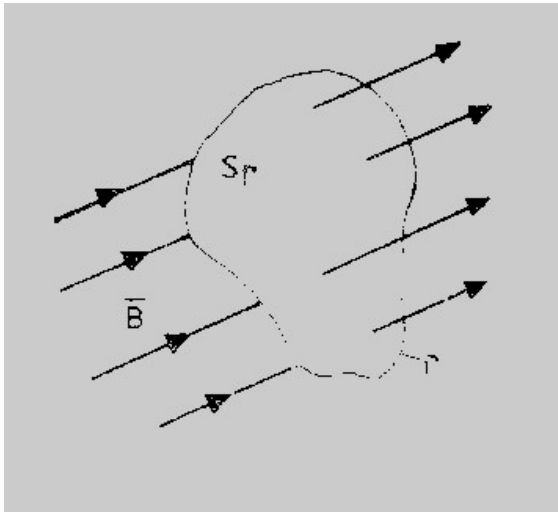
Materiale feromagnetice = sunt materialele la care μ_r creste puternic, atingând la unele aliaje speciale valori de ordinul sutelor de mii.

Exemple: fierul, cobaltul, nichelul si unele aliaje.

Regimuri fundamentale ale electrodinamicii

■ Legea fluxului magnetic

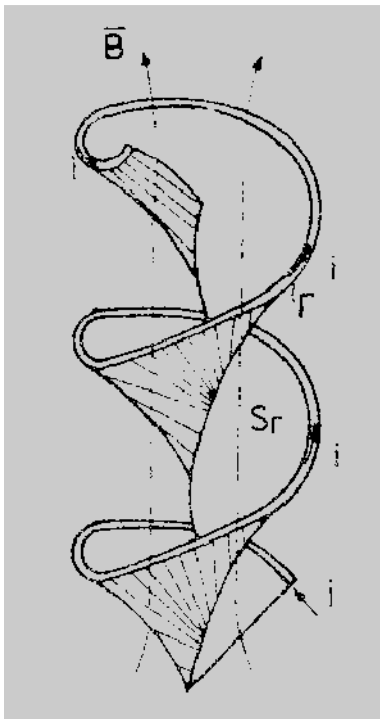
Fluxul magnetic – este integrala de suprafață a vectorului inducție magnetică pe suprafața S_Γ .



$$\phi_{S_\Gamma} = \int_{S_\Gamma} \vec{B} \cdot d\vec{s}$$

Legea fluxului magnetic

Existenta bobinelor (solenozilor) impune introducerea a doua forme de flux magnetic.



Suprafața totală S_Γ se compune dintr-un număr w de suprafețe identice, ce corespund unei spire din cele w spire ale solenoidului.

Fluxul magnetic corespunzător suprafeței unei singure spire poartă numele de flux fascicular (ϕ_f).

$$\phi_f = \int_{S_{sp}} \overline{B} \cdot \overline{ds}$$

Legea fluxului magnetic

Fluxul magnetic corespunzător suprafeței totale S_{Γ} este suma fluxurilor fasciculare și poartă numele de flux magnetic total (ϕ_t)

$$\phi_t = \int_{S_{\Gamma}} \overline{B} \cdot \overline{ds} = w \cdot \phi_f = w \cdot \int_{S_{sp}} \overline{B} \cdot \overline{ds}$$

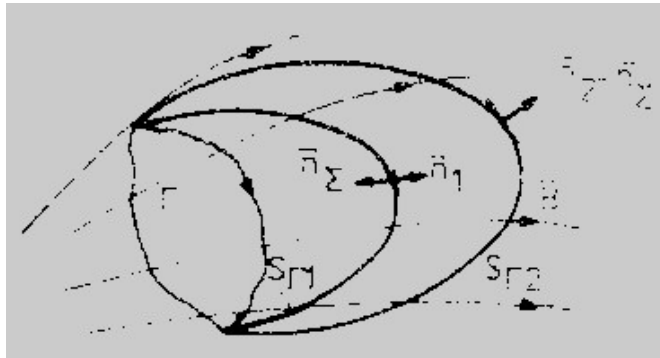
Legea fluxului magnetic:

Fluxul magnetic prin orice suprafață închisă situată în câmp magnetic este nul în orice moment.

$$\phi_{\Sigma} = \int_{\Sigma} \overline{B} \cdot \overline{ds} = 0$$

Consecințe ale legii fluxului magnetic

1. Fluxul magnetic depinde numai de conturul pe care se sprijină suprafața și nu depinde de forma suprafeței.



$$\phi_\Sigma = \int_\Sigma \vec{B} \cdot d\vec{s} = - \int_{S_{\Gamma_1}} \vec{B} \cdot d\vec{s} + \int_{S_{\Gamma_2}} \vec{B} \cdot d\vec{s} = 0$$

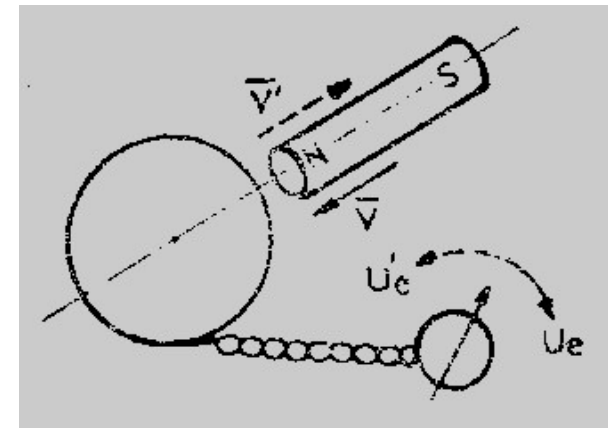
$$\phi_{S_{\Gamma_1}} = \phi_{S_{\Gamma_2}}$$

2. Liniile câmpului magnetic sunt curbe închise.
 - Liniile de câmp magnetic nu pot avea origine și deci sunt curbe închise;
 - Consecința aceasta este o formă echivalentă a afirmației că nu există sarcina magnetică izolată.

Legea inducției electromagnetice

În 1831 cercetătorul englez Michael Faraday descoperă fenomenul de inducție electromagnetica.

- o spira circulara conectata la un aparat de măsura;
- în lungul axei perpendiculara pe planul spirei, ce trece prin centrul spirei, se mișca cu viteza (v) un magnet, în forma de bara;
- dacă magnetul se apropie cu viteza (v) de spira apare o deviație a acului aparatului de măsura – apariția unei tensiuni electromotoare (u_e).
- dacă magnetul se deplasează apoi cu o viteza (v'), acul aparatului de măsura deviază în sens contrar, măsurând tensiunea electromotoare (u_e').
- dacă magnetul sta, indiferent de poziție, acul sta pe poziția de nul.



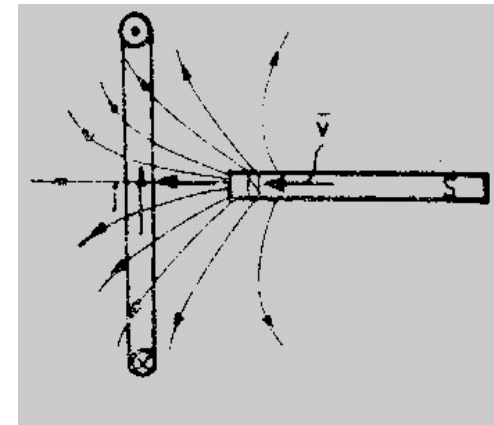
Legea inducției electromagnetice

- dacă magnetul se apropie de spira → fluxul magnetic prin suprafața spirei crește.
- dacă viteza crește → fluxul magnetic crește mai repede.
- t.e.m. indusa (u_e) este proporțională cu viteza de variație a fluxului magnetic.
- dacă magnetul se îndepărtează de spira → fluxul magnetic prin suprafața spirei scade;
- t.e.m. indusa (u_e) își schimbă sensul, dar rămâne proporțională cu viteza de variație a fluxului magnetic.

Legea inducției electromagnetice

În spira apare datorită t.e.m. un curent (i).

Dacă se urmărește sensul curentului care este și sensul t.e.m., se observă că sensul câmpului magnetic (generat de curent) este întotdeauna opus variației fluxului magnetic dat de câmpul magnetic al magnetului.



Regula lui LENZ: Tensiunea electromotoare indusă caută ca prin efectele ei (curenți, forțe) să se opună variației fluxului magnetic ce o produce.

Legea inducției electromagnetice

Definiții:

1. Câmp magnetic inductor (de excitație) = câmpul magnetic ce produce t.e.m. indusa;
2. Câmp magnetic de reacție = câmpul magnetic ce apare datorita curentului produs de t.e.m. indusa.

Legea inducției electromagnetice

Tensiunea electromotoare $u_{e\Gamma}$ indusa in circuitul Γ = viteza de variație a fluxului magnetic $\Phi_{S\Gamma}$ prin acel circuit, luata cu semn schimbat.

$$u_{e\Gamma} = - \frac{d\phi_{S\Gamma}}{dt}$$

Legea circuitului magnetic

Experimental: între plăcile condensatoarelor și în jurul acestora, atunci când sunt alimentate cu tensiuni variabile în timp, se manifestă și câmpuri magnetice, pe lângă cele electrice.

→ variația câmpului electric poate genera câmp magnetic:

$$\oint_{\Gamma} \overline{H} \cdot d\overline{l} = \frac{d}{dt} \int_{S_{\Gamma}} \varepsilon \cdot \overline{E} \cdot d\overline{S}$$

Legea circuitului magnetic

Legea circuitului magnetic

Intr-un mediu in care exista conductoare parcurse de curenți electrici (câmpuri electrice) variabili in timp pe orice contur închis Γ tensiunea magnetomotoare este numeric egala cu suma dintre solenația θ_Γ si viteza de variație a fluxului electric ψ_{S_Γ} .

$$\oint_{\Gamma} \overline{H} \cdot \overline{dl} = \int_{S_\Gamma} \overline{J} \cdot \overline{ds} + \frac{d}{dt} \int_{S_\Gamma} \varepsilon \cdot \overline{E} \cdot \overline{ds}$$

Legea circuitului magnetic

În cazul unui condensator plan:

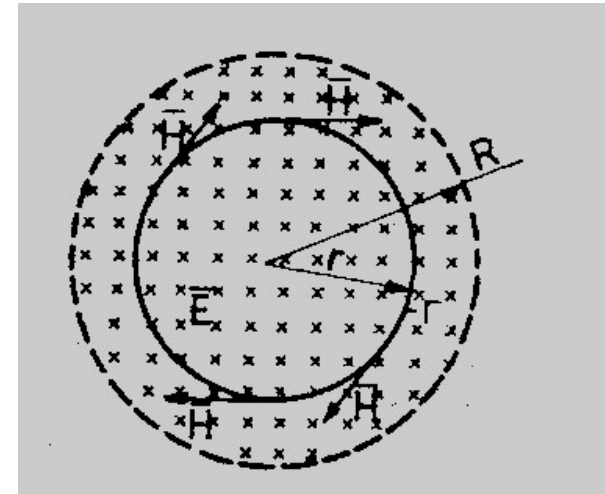
$$\oint_{\Gamma} \overline{H} \cdot \overline{dl} = H \int_{\Gamma} dl = H \cdot 2 \cdot \pi \cdot r$$

$$\int_{S_{\Gamma}} \varepsilon \cdot \overline{E} \cdot \overline{ds} = \varepsilon \cdot E \cdot \int_{S_{\Gamma}} ds = \varepsilon \cdot E \cdot \pi \cdot r^2$$

$$H \cdot 2 \cdot \pi \cdot r = \pi \cdot r^2 \cdot \varepsilon \cdot \frac{dE}{dt} \longrightarrow H = \frac{r}{2} \varepsilon \frac{dE}{dt}$$

În exteriorul condensatorului, liniile de câmp magnetic raman circulare, permitivitatea electrica devine ε_0 .

$$\longrightarrow \psi_{S_{\Gamma}} = \pi \cdot r^2 \cdot \varepsilon_0 \cdot E$$

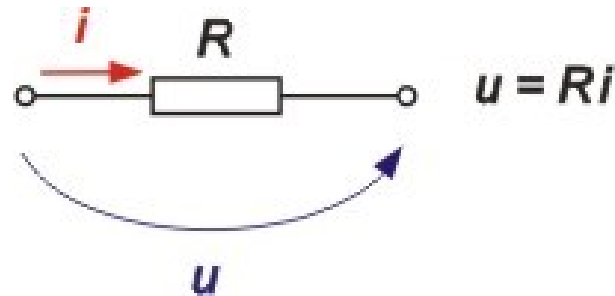


ELEMENTE IDEALE DE CIRCUIT

Rezistenta ideala

Ecuatia de tensiuni:

$$u = R \cdot i$$



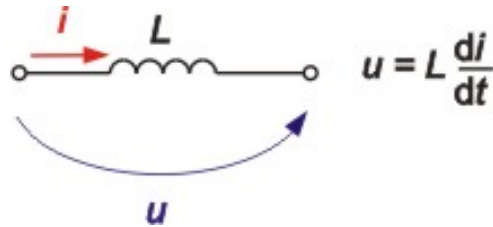
Puterea instantanee primita de rezistenta ideala:

$$p = u \cdot i = R \cdot i^2$$

Bobina ideala

Ecuatia de tensiuni:

$$u = L \frac{di}{dt}$$



Se obtine din legea inductiei electromagnetice in care $\Phi = L i$,
 L – inductanta bobinei

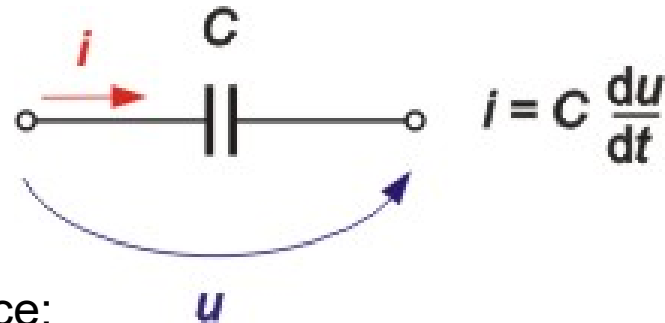
Prin integrare: $i(t) - i(0) = \frac{1}{L} \int_0^t u \cdot dt$ $i(0)$ - valoarea initiala a curentului

Puterea instantanee primita de bobina: $p = ui = \frac{d}{dt} \left(\frac{L i^2}{2} \right) = \frac{dW_m}{dt}$

W_m – energia campului magnetic al bobinei: $W_m = \frac{L i^2}{2}$

Condensatorul ideal

Ecuatia de tensiuni: $i = C \frac{du}{dt}$



Se obtine din legea conservarii sarcinii electrice:

$$i = \frac{dq}{dt} \quad \text{si:} \quad q = Cu$$

Prin integrare: $u(t) - u(0) = \frac{1}{C} \int_0^t i \cdot dt$ $u(0)$ - valoarea initiala a tensiunii

Puterea instantanee primita de condensator: $p = ui = \frac{d}{dt} \left(\frac{Cu^2}{2} \right) = \frac{dW_e}{dt}$

W_e – energia campului electric al condensatorului: $W_e = \frac{Cu^2}{2}$

Subiecte examen

1. Definiți starea de magnetizare și câmpul magnetic
2. Inducția magnetică - formula, semnificație mărimi, unitate de măsură
3. Intensitatea câmpului magnetic în vid - formula, semnificație mărimi
4. Ce sunt liniile de câmp magnetic?
5. Tensiunea magnetică/magnetomotare - definiție, formula, semnificație mărimi
6. Solenația - formula, semnificație mărimi
7. Teorema lui Ampere – definiție, formula, semnificație mărimi
8. Ce reprezintă fluxul magnetic fascicular/total - enunț, formula, semnificație mărimi
9. Legea fluxului magnetic – enunț, formula, semnificație mărimi
10. Explicați în ce constă fenomenul inducției electromagnetice
11. Legea inducției electromagnetice – enunț, formula, semnificație mărimi
12. Legea circuitului magnetic – enunț, formula, semnificație mărimi
13. Ecuația de tensiune și putere instantanee pentru R ideal
14. Ecuația de tensiune și putere instantanee pentru L ideal
15. Ecuația de tensiune și putere instantanee pentru C ideal