

Universitatea
Transilvania
din Braşov

FACULTATEA DE INGINERIE ELECTRICĂ
ŞI ŞTIINŢA CALCULATOARELOR

ELECTROTEHNICA

Conf. Dr. Ing. Luminiţa BAROTE

Structura cursului:

- I. Legile fundamentale ale câmpului electromagnetic
- II. Retele de condensatoare
- III. Circuite in curent continuu
- IV. Circuite in regim tranzitoriu
- V. Circuite in în regim sinusoidal
- VI. Circuite in în regim nesinusoidal
- VII. Circuite trifazate
- VIII. Cuadripoli
- IX. Masini electrice (Transformator, Masina asincrona si sincrona)

Referinte bibliografice

- L.E. Aciu, D. Bidian, L. Barote, *Bazele Electrotehnicii: Teoria Circuitelor Electrice*, Editura Universității Transilvania din Brașov, 2013.
- L. Barote, *Electrotehnică și mașini electrice*, Editura Universității Transilvania din Brașov, 2014.
- L.E. Aciu, Gh. Pana, L. Barote, *Electrotehnica si Electronica aplicata. Partea a 2-a*, Editura Universității Transilvania din Brașov, 2015.
- L. E. Aciu, L. Barote, M. Fratu, D.S. Bidian, *Electrotehnică și Electronică aplicată. Partea a 3-a*, Editura Universității Transilvania din Brașov, 2016.
- A. Nicolaide, *Bazele fizice ale electrotehnicii*, vol I și II, Editura Scrisul Românesc, Craiova, 1986.
- Gh. Scutaru, D. Sorea, *Bazele electrotehnici. Probleme*. Universitatea Transilvania din Brașov, 1992.

Evaluare

☐ Examen: 60 %.

☐ Seminar: 40 %.

CURS 1

Legile fundamentale ale câmpului electromagnetic

Cuprins

- Sarcina electrica. Câmpul electric în vid. Intensitatea câmpului electric
- Formula lui Coulomb
- Tensiunea electrică
- Lucrul mecanic al forțelor de natură electrică
- Legea fluxului electric
- Starea electrocinetica: Curentul electric
- Clasificarea materialelor
- Regimuri fundamentale ale electrocineticii

Câmpul electromagnetic este o forma de manifestare a materiei existenta in acele zone din spațiu in care, asupra corpurilor se manifesta/executa forțele si cupluri de natura electromagnetica.

In funcție de variația in timp a mărimilor, fenomenele electromagnetice se pot clasifica in 4 regimuri:

- **Static** – mărimi de stare ale câmpului electromagnetic constante in timp;
- **Staționar** – mărimi de stare ale câmpului electromagnetic constante in timp, dar apare curentul electric;
- **Cvasistationar**: mărimile variază in timp dar suficient de lent pentru a se putea neglija fenomenul de radiație a energiei electromagnetice.
- **Nestationar** – mărimi de stare ale câmpului electromagnetic variabile in timp.

Sarcina electrică

Sarcina electrică: mărimea fizică **scalară** cu ajutorul căreia se caracterizează starea de electrizare a corpurilor.

Notăție: **q**.

Unitate de măsură: **Coulomb, [C]**;

submultipli: mC (10^{-3}), μ C (10^{-6}), nC (10^{-9}), pC (10^{-12}).

Sarcina electrică elementară: **electronul**, sarcină negativă, $q_e = -1.602 \cdot 10^{-19}$ C

Câmpul electric în vid. Intensitatea câmpului electric

Câmpul electric este starea de existență a materiei diferită de substanța, ce se caracterizează prin faptul că exercită forțe sau cupluri asupra unor corpuri electrizate aflate în câmpul electric.

Intensitatea câmpului electric într-un punct este egală cu raportul dintre forța exercitată de câmpul electric asupra unui corp de probă și sarcina electrică q a corpului de probă situat în acel punct.

$$\overline{E_V} = \frac{\overline{F}}{q} \quad \longrightarrow \quad \overline{F} = q \cdot \overline{E_V}$$

Unitate de măsură: **Volt/metru (V/m).**

Linii de câmp electric

Linia de câmp electric este curba tangentă în orice punct la intensitatea câmpului electric \vec{E} .

Sensul liniilor de câmp electric este același cu sensul \vec{E} .

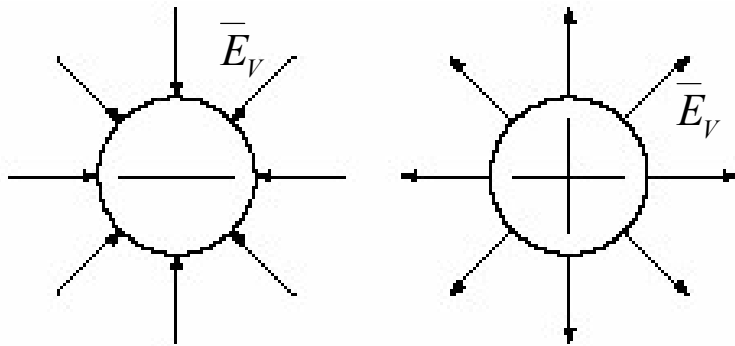


Fig. 1.1.

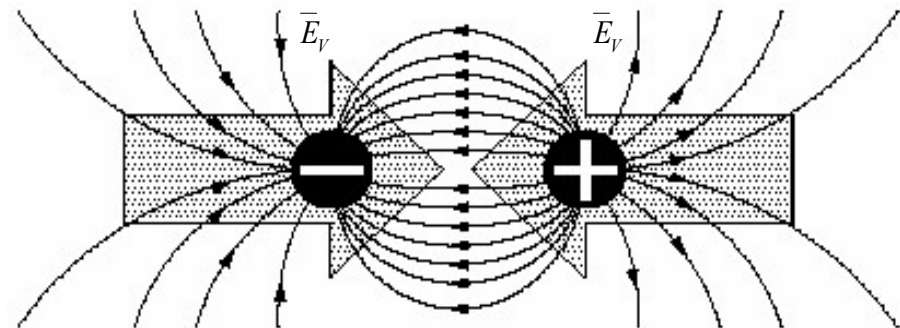


Fig. 1.2.

Repartiția (distribuția) sarcinii pe corpuri poate fi:

- **volumetrică**, sarcina se găsește distribuită în întreg volumul corpului, caracteristică materialelor izolante.

$$\rho_V = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta V} = \frac{dq}{dV} \quad [\text{C/m}^3] \quad - \text{densitatea de volum a sarcinii electrice}$$

$$q = \int \rho_V \cdot dV$$

- **superficială, sau de suprafață**, sarcina se află pe suprafața corpului, caracteristică pentru conductoare.

$$\rho_S = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta S} = \frac{dq}{dS} \quad [\text{C/m}^2] \quad - \text{densitatea de suprafață a sarcinii electrice}$$

$$q = \int \rho_S \cdot dS$$

Repartiția (distribuția) sarcinii pe corpuri poate fi:

- **liniară, sau de linie**, sarcina se află pe corpuri filiforme (fire subțiri, cabluri, linii electrice).

$$\rho_l = \lim_{\Delta l \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta l} = \frac{dq}{dl} \quad [\text{C/m}] \quad - \text{densitatea de linie a sarcinii electrice}$$

$$q = \int \rho_l \cdot dl$$

Sarcina totală se obține prin însumare:

$$q_t = \int \rho_v \cdot dV + \int \rho_s \cdot dS + \int \rho_l \cdot dl$$

Formula lui Coulomb

$$\vec{F}_{21} = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r_{12}^2} \cdot \frac{\vec{r}_{12}}{r_{12}}$$

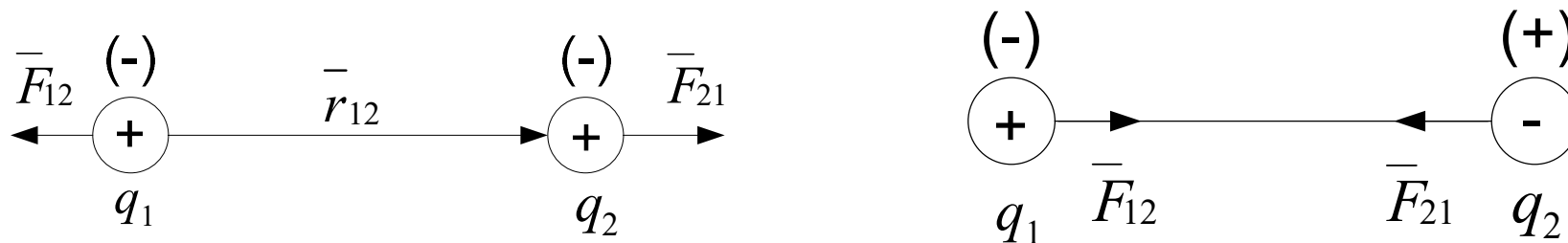


Fig. 1.3.

permitivitatea vidului

$$\varepsilon = \varepsilon_0 = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot 9 \cdot 10^9} \left[\frac{F}{m} \right]$$

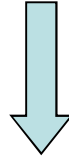
↓
permitivitate electrica

$$\varepsilon = \varepsilon_r \cdot \varepsilon_0 \left[\frac{F}{m} \right]$$

↓
permitivitate relativa a
mediului

Formula lui Coulomb

Importanta relației lui Coulomb: Permite definirea unitatii de măsură a sarcinii electrice:



COULOMB = Sarcina electrica a unui corp mic situat in vid, la distanta de 1 m de un alt corp incarcat cu aceeasi sarcina electrica asupra caruia se exercita o forta de $9 \cdot 10^9$ N.

Principiul suprapunerii forțelor:

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = \frac{q}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \sum_{k=1}^n \frac{q_k}{r_k^3} \cdot \vec{r}_k$$

Calculul intensității câmpului electric produs de o sarcină punctiformă

2 sarcini punctiforme aflate într-un sistem izolat:

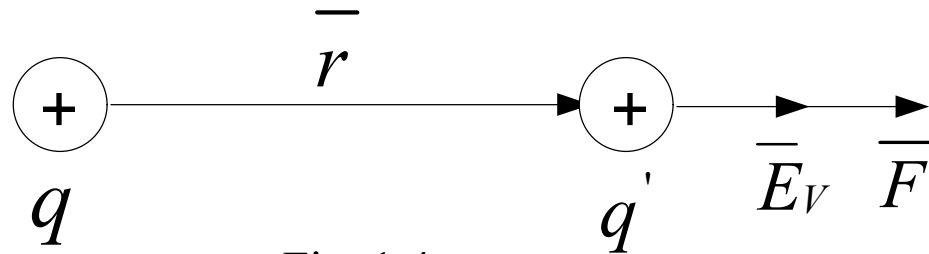


Fig. 1.4.

Forța de interacțiune dintre sarcini:

$$\vec{F} = q' \cdot \vec{E}_v$$
$$\vec{F} = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon} \cdot \frac{q \cdot q'}{r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r}$$
$$\vec{E}_v = \frac{\vec{F}}{q'} = \frac{q}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon \cdot r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r}$$

Tensiunea electrică

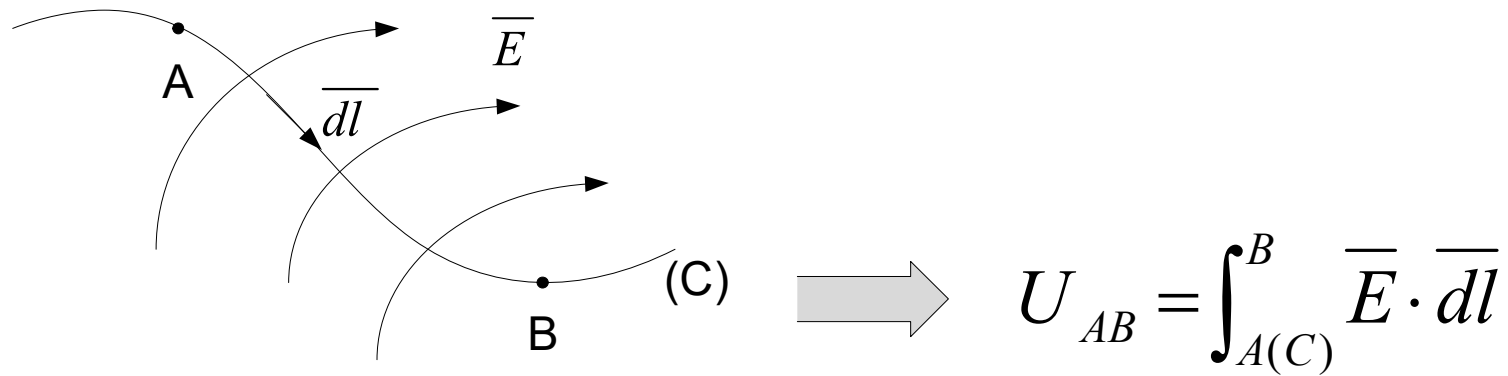


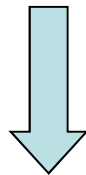
Fig. 1.5.

Unitate de măsură: **Voltul (V).**

Lucrul mecanic al forțelor de natură electrică

Lucrul mecanic pentru deplasarea sarcinii q între punctele A și B:

$$L_{AB} = \int_{A(C)}^B \overline{F} \cdot \overline{dl} = \int_{A(C)}^B q \cdot \overline{E} \cdot \overline{dl} = q \cdot \int_{A(C)}^B \overline{E} \cdot \overline{dl} = q \cdot U_{AB}$$



Unitate de măsură: **Joule (J)**.

Definiție **VOLT**:

Între două puncte din câmpul electric există tensiunea electrică de 1 V dacă pentru a deplasa o sarcină de 1 C este necesar un lucru mecanic de 1 J.

Legea fluxului electric

Se consideră o suprafață închisă Σ în care se afla o sarcină q .

Se calculează fluxul vectorului intensitate a câmpului electric prin această suprafață.

$$\int_{\Sigma} \epsilon_0 \vec{E} d\vec{s} = q_{\Sigma} \quad q_{\Sigma} - \text{sarcina totală din interiorul suprafeței}$$

Legea fluxului electric în vid: Fluxul electric printr-o suprafață închisă Σ este egal cu sarcina electrică din interiorul acelei suprafețe.

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} \quad - \text{inducție electrică în vid} \quad [D]_{SI} : [C/m^2]$$

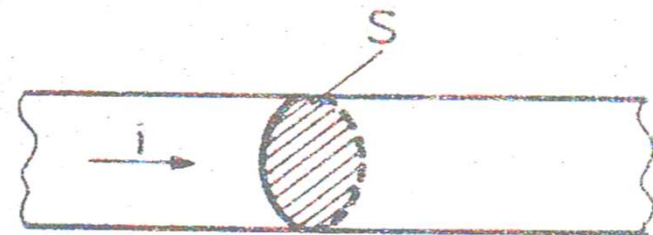
$$\int_{\Sigma} \vec{D} \cdot d\vec{s} = q_{\Sigma}$$

Starea electrocinetica

Curentul electric de conducție: apare datorita deplasării ordonate a sarcinilor electrice in conductoare.

Intensitatea curentului electric: limita raportului dintre sarcina electrica ce trece prin suprafața transversala a unui conductor in intervalul de timp stabilit.

$$i = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt}$$



Notăție: **i, I**

Unitate de măsură: **Amper, [A]**

submultipli: mA (10^{-3}), μ A (10^{-6}), nA (10^{-9}), pA (10^{-12}).

Curentul electric

Densitatea de curent: mărime fizică vectorială, caracterizează distribuția locală a curentului.

Unitate de măsură: **[A/m²]**

Ptr. conductor de forma oarecare:



$$i_S = \int_S \overline{J} \cdot d\overline{S}$$

Clasificarea materialelor

Clasificarea materialelor – după cum permit trecerea curentului electric de conducție:

1. Materiale conductoare – permit trecerea cu ușurință a curentului electric de conducție. Sarcina electrica comunicata intr-un punct, se raspandeste rapid pe toata suprafata.

- **conductoare de specia întâi – electronii liberi** se deplasează ordonat, prezintă conductivitate electronica

Exemple: metale, carbon.

- **conductoare de specia a doua** – ionii pozitivi si negativi se deplasează ordonat, apar si reacții de natura chimica, prezintă conductivitate ionica

Exemple: soluții de săruri, baze, acizi, topituri de săruri.

Clasificarea materialelor

- 2. Materiale izolante (dielectrics)** – nu permit trecerea curentului electric de conducție. Sarcina electrica comunicata acestor materiale ramane in zona de electrizare timp îndelungat.

Exemple: sticla, cauciuc, porțelan, lichidele pure, hârtia.

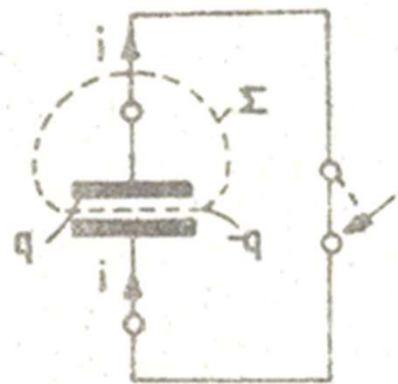
- 3. Materiale semiconductoare** – sunt materiale izolante care, in anumite condiții, pot asigura trecerea curentului electric de conducție.

Exemple: siliciul, germaniul, seleniul.

Regimuri fundamentale ale electrocineticii

■ Legea conservării sarcinii electrice

Intensitatea curentului electric i_{Σ} de conducție ce iese dintr-o suprafață închisă Σ este egală cu viteza de scădere a sarcinii electrice q_{Σ} din interiorul suprafeței.



$$i = -\frac{dq}{dt} = \frac{d(-q)}{dt}$$

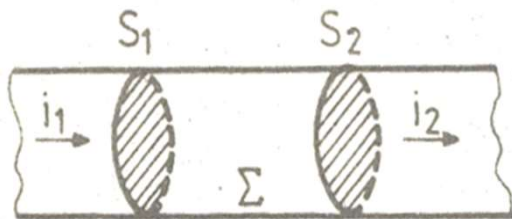
$$i_{\Sigma} = -\frac{dq_{\Sigma}}{dt}$$

- **Exemplu:** curentul care apare la descărcarea unui condensator

Legea conservării sarcinii electrice

Consecința importantă a legii conservării sarcinii electrice:

În lungul unui conductor neramificat intensitatea curentului electric de conducție rămâne constantă în regim staționar.



$$i_{\Sigma} = \int_{\Sigma} \vec{J} \cdot d\vec{S} = -i_1 + i_2$$

↓
Semnul curentului s-a asociat cu semnul pozitiv al versorului suprafață.

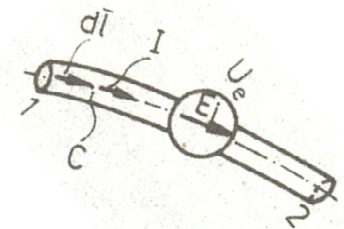
În **electrocinetică** regimul este **staționar**, deci: $\frac{dq_{\Sigma}}{dt} = 0 \quad \rightarrow \quad i_1 = i_2$

Regimuri fundamentale ale electrocineticii

■ Legea conducției electrice

Se considera o porțiune de conductor de secțiune constantă, este:

- limitată de punctele **1** și **2**
- parcursă de curentul (**i**)
- conține și o sursă de tensiune electromotoare (**U_e**).



Experimental se stabilește pentru această porțiune de circuit – legea conducției electrice:

Integrala de linie a intensității câmpului electric, pe o porțiune de conductor cu sursă electromotoare = produsul dintre intensitatea curentului din conductor și o mărime scalară R_{12} , numită rezistență electrică.

$$\int_{1(C)}^2 (\overline{E} + \overline{E}_i) \cdot \overline{dl} = i \cdot R_{12}$$

forțele de natură neelectrică care exercitate asupra sarcinilor electrice duc la mișcarea ordonată a acestora.



Tensiunea electromotoare – apare în urma existenței câmpurilor electrice imprimare.

Legea conducției electrice

Legea conducției electrice este o lege de material, deoarece apare în expresia ei o mărime dependentă de material.

$$u_{12} = u_f = \int_{1(C)}^2 \overline{E} \cdot \overline{dl} \quad - \quad \text{tensiunea electrică în lungul firului}$$

$$u_{ei} = \int_{1(C)}^2 \overline{E}_i \cdot \overline{dl} \quad - \quad \text{tensiunea electromotoare}$$

↓

$$u_{12} + u_{ei} = i \cdot R_{12} \quad \text{Ptr. un circuit închis: } u_{12} = 0 \rightarrow u_{ei} = i \cdot R$$

Legea conductiei electrice

In regim staționar (curent continuu) se poate afirma, pe baza **teoremei potențialului electric staționar**, ca tensiunea in lungul firului nu depinde de fir ci doar de punctele pentru care este scrisa:

$$u_{12} = u_f = u_b = \int_1^2 \overline{E} \cdot \overline{dl} = V_1 - V_2$$

u_b - tensiunea la bornele circuitului.

$$u_b = i \cdot R_{12} \quad - \quad \text{Legea lui Ohm}$$

Legea lui Ohm: Permite definirea rezistentei electrice:

Rezistenta electrica a unui conductor este numeric egala cu raportul dintre tensiunea electrica continua aplicata conductorului si curentul care îl străbate.

$$\rightarrow R = \frac{u_b}{i}$$

Legea conductivității electrice

Măsurările experimentale indică pentru rezistența electrică a conductorului relația:

$$R_{12} = \int_1^2 \rho \cdot \frac{dl}{S}$$

- ρ - reprezintă rezistivitatea conductorului (o proprietate de material);
- dl - elementul de lungime în lungul căruia se determină rezistența
- S - secțiunea transversală a conductorului.

Rezistența unui conductor omogen, de secțiune constantă (S), pentru o lungime (l) considerată este:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S}$$

Unitate de măsură: **Ohm, $[\Omega]$** .

Legea transformării energiei in conductoare

Trecerea curenților prin conductoare este însoțită de transformări energetice caracteristice stării electrocinetice.

Puterea electromagnetică (P) primită de un conductor de la câmpul electromagnetic în procesul de conducție = produsul dintre tensiunea electrică în lungul conductorului și intensitatea curentului electric din conductor:

$$P = u_f \cdot i$$

$$u_f = R \cdot i - u_{ei} \rightarrow P = R \cdot i^2 - i \cdot u_{ei} = P_R - P_G$$

Subiecte examen:

1. Enumerați regimurile caracteristice pentru fenomenele electromagnetice.
2. Prin ce se caracterizează regimul electric static/stationar/cvasistationar/nestationar.
3. Sarcina electrica - definiție, unitate de măsură.
4. Definiți câmpul electric.
5. Intensitatea câmpului electric – definiție, formula, semnificație mărimi, unitate de măsură.
6. Densitatea de suprafață/volum/linie a sarcinii electrice – definiție, formula, semnificație mărimi, unitate de măsură.
7. Tensiunea electrica – formula, semnificație mărimi, unitate de masura.
8. Lucrul mecanic al forțelor de natură electrică – formula, semnificație mărimi, unitate de măsură.
9. Legea fluxului electric – enunț, formula, semnificație mărimi.
10. Intensitatea curentului electric – definiție, formula, semnificație mărimi, unitate de masura.
11. Densitatea de curent pentru un conductor de forma oarecare – formula, semnificație mărimi, unitate de măsură.
12. Clasificarea materialele conductoare, exemple.
13. Ce sunt materialele izolante, exemple.
14. Ce sunt materialele semiconductoare, exemple.
15. Legea conservării sarcinii electrice – enunț, formula, semnificație mărimi.
16. Legea conducției electrice – enunț, formula, semnificație mărimi.
17. Legea lui Ohm – enunț, formula, semnificație mărimi.
18. Legea transformării energiei in conductoare.