

**Baban Valerica**

**Metode experimentale în fizică  
Electricitate și Magnetism**





**Baban Valerica**

**Metode experimentale în fizică  
Electricitate și Magnetism**



**Constanța 2023**

Copyright © Editura NAUTICA, 2011

pentru prezenta ediție

**Editura NAUTICA, 2011**

**Editură recunoscută de CNCSIS**

Str. Mircea cel Bătrân nr.104

900663 Constanța, România

tel.: +40-241-66.47.40

fax: +40-241-61.72.60

e-mail: [info@cmu-edu.eu](mailto:info@cmu-edu.eu)

**Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României**

**BABAN, VALERICA**

**Metode experimentale în fizică : electricitate și magnetism / Valerica**

Baban. - Constanța : Nautica, 2023

Conține bibliografie

ISBN 978-606-681-179-8

53

## Prefață

Această lucrare este partea a II-a a seriei dedicată prezentării unor metode de lucru în fizica experimentală. Conține experimente fundamentale de electricitate și magnetism care vin în completarea oricărui curs de fizică generală. În forma propusă cartea se adresează în primul rând studenților de la facultățile de inginerie fiind o bază de pornire spre discutarea unor subiecte mai avansate.

La alegerea temelor abordate am avut în vedere criteriul relevanței anumitor fenomene fizice în formarea gândirii științifice și în înțelegerea bazei electromagnetismului.

Pe scurt cartea este structurată după cum urmează: experimente de electrostatică (vizează înțelegerea fenomenelor de electrizare, ecranare electrostatică, câmp și potențial electric), experimente de curent continuu (înțelegerea conducției electrice, funcționarea circuitelor electrice, modul în care se disipă energia pe elemente de circuit, diferențele dintre rezistori ohmici și alte tipuri de rezistori, funcționarea elementelor neliniare de circuit, modul în care operează condensatorii electrice), experimente de magnetism (particularitățile câmpului magnetic produs de bobine ca elemente esențiale în ingineria electrică, fenomenul de inducție electromagnetică ca fenomen fundamental în înțelegerea relației dintre câmpul magnetic și curentul electric precum și aplicații ale acestuia)

Am dorit de asemenea să prezint experimente posibil de a fi realizate cu instrumentație de laborator actuală cum ar fi senzori de curent, tensiune, câmp magnetic în conexiune cu produse software dedicate.

*decembrie 2023, Constanța*

*Valerica Baban*



## Cuprins

Prefață .....	5
1. Metode de electrizare. Generatorul Van der Graff .....	9
2. Suprafețe echipotențiale și linii de câmp electric .....	21
3. Circuite electrice de curent continuu .....	25
4. Legea lui Ohm.....	35
5. Puterea electrică în circuite de curent continuu .....	43
6. Condensatorul electric .....	47
7. Dioda semiconductoare.....	55
8. Termistorul.....	61
9. Câmpul magnetic .....	69
10. Fenomenul de inducție electromagnetică.....	79
11. Fenomenul de inducție electromagnetică și transformatorul .....	89
12. Câmpul magnetic al Pământului .....	93
Bibliografie .....	103





# 1. Metode de electrizare. Generatorul Van der Graff

## 1.1 Obiective

- ✓ Studiul metodelor de electrizare a corpurilor.
- ✓ Evidențierea câmpului electrostatic și a fenomenelor de electrizare folosind generatorul Van der Graff.
- ✓ Evidențierea fenomenului de ecranare electrostatică.

## 1.2 Introducere teoretică

### 1.2.1 Sarcina electrică

### 1.2.2 Câmpul electric

### 1.2.3 Comportarea în câmp electric a conductorului

### 1.2.4 Comportarea în câmp electric a dielectricilor

### 1.2.5 Generatorul Van der Graff

Existența sarcinilor electrice pozitive și negative a fost pusă în evidență de Benjamin Franklin în perioada 1750-1752 în urma numeroaselor sale experimente de electrostatică. Ulterior, după descoperirea atomului s-a stabilit că fenomenele de electrizare au legătura cu structura acestuia. Atomul, deși este neutru din punct de vedere electric, poate fi adus prin diferite procedee în situația de a pierde electroni sau de a primi electroni și de a se transforma în acest mod într-un ion pozitiv sau negativ. Dacă un corp conține mai mulți asemenea atomi care au, fie deficit, fie surplus de electroni atunci acel corp are o sarcină electrică netă fie pozitivă, fie negativă, nemaifiind neutru din punct de vedere electric. Structura atomului neutru este prezentată schematic în figura 1.

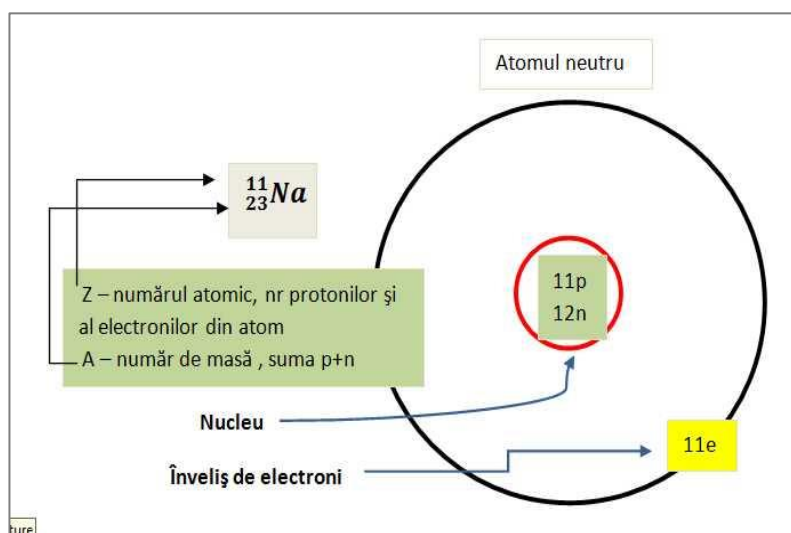


Fig. 1.1 Schema simplificată a atomului

Sarcina electrică are următoarele proprietăți:

- ✓ Poate fi pozitivă și negativă.
- ✓ Este o mărime cuantificată,  $q = Ne$ ,  $N = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$  unde  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} C$  este sarcina electrică elementară. Acest lucru înseamnă că orice corp încărcat cu sarcină electrică nu poate avea decât o sarcină multiplu întreg al unei valori minime care este numită *sarcină elementară* și care are valoarea egală cu sarcina electrică a electronului. În natură nu pot exista în stare liberă sarcini electrice a căror valoare să fie fracțiuni din sarcina elementară, sarcina elementară fiind cea mai mică sarcină posibil de a exista liber în natură.
- ✓ Sarcinile de același semn se resping în timp ce sarcinile de semne contrare se atrag.
- ✓ Sarcina electrică este invariantă relativist, adică valoarea ei nu se modifică cu creșterea vitezei nici chiar la viteze foarte foarte mari.

Interacțiunea sarcinilor electrice respectă legea lui Coulomb. În cazul a două sarcini electrice punctiforme în comparație cu distanța care le separă forțele de interacțiune (de atracție sau respingere) sunt date de relația (1.1).

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \cdot \frac{q_1q_2}{r^2} \quad (1.1)$$

unde  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} F/m$  este permitivitatea absolută a vidului,  $\epsilon_r$  este permitivitatea relativă a mediului în care se află sarcinile electrice,  $q_1$ ,  $q_2$  sunt valorile celor două sarcini electrice,  $r$  este distanța dintre ele.

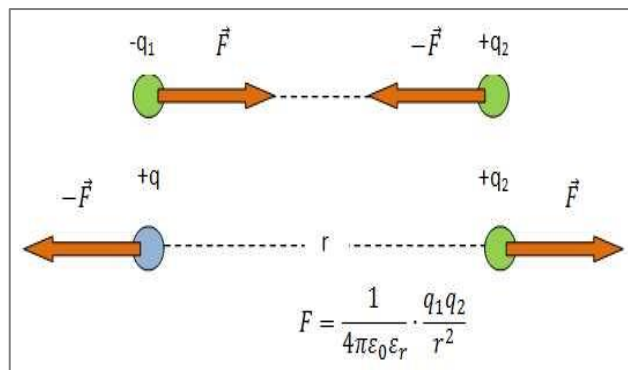


Fig. 1.2

Forțele  $\vec{F}$ ,  $-\vec{F}$  sunt pereche acțiune-reacțiune. În literatura de specialitate apar denumite în mai multe moduri echivalente: forțe coulombiene sau forțe electrostatice sau forțe electrice.

În cazul corpurilor macroscopice încărcate cu sarcină electrică, legea lui Coulomb are o formă mai complicată care ține seama de forma și dimensiunile corpurilor și de modul în care este distribuită sarcina electrică a acestora. Însă și în aceste cazuri rămâne esențială dependența invers proporțională a forțelor coulombiene de pătratul distanței dintre corpurile care interacționează.

Din punctul de vedere al posibilității de deplasare a sarcinilor electrice în interiorul corpurilor macroscopice acestea pot fi conductori sau izolatori (dielectrics). Proprietățile acestora sunt sumarizate în tabelul 1.1.

conductori	izolatori
Materiale care conțin sarcini electrice libere capabile să se miște dintr-un loc în altul.	Sarcinile electrice sunt fixe, nu se pot deplasa.
Metale , gaze ionizate , soluții ionice .	Plasticul , ceramicile, sticla, aerul uscat , apa pură , lemnul uscat .

Tabelul 1.1

Electrizarea reprezintă mecanismul prin care un corp macroscopic poate fi adus în situația de a avea sarcini electrice în exces. Metodele de electrizare ale corpurilor sunt următoarele:

- Electrizare prin frecare, corpurile se încarcă cu sarcini de semn diferit (Fig. 1.3a)
- Electrizare prin contact, corpurile se încarcă cu sarcini de același semn (Fig. 1.3b)
- Electrizare prin influență, se produce când aducem un conductor (sfera din Fig. 1.4) în vecinătatea unui alt corp deja electrizat. În interiorul conductorului sarcinile electrice libere, anume electronii, se vor deplasa în funcție de semnul sarcinii corpului electrizat, partea opusă a conductorului căpătând o sarcină electrică de semn opus.

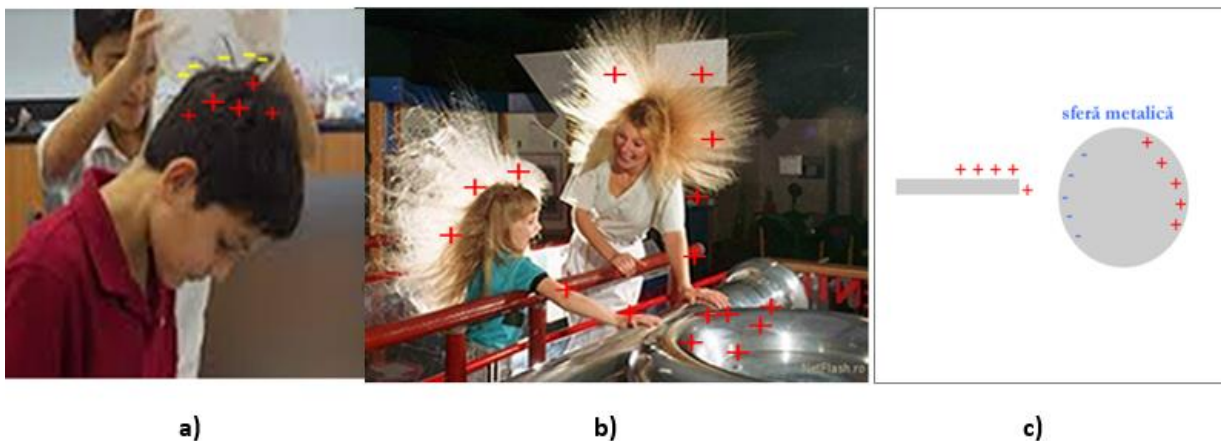


Fig. 1.3 electrizare prin: (a) prin frecare, (b) prin contact, (c) prin influență.

## 1.2.2 Câmpul electric

Câmpul electric apare în jurul oricărui corp încărcat cu sarcină electrică. Una din mărimile fizice care caracterizează câmpul electric este *intensitatea câmpului electric*  $\vec{E}$ . Intensitatea câmpului electric produs de o sarcină sursă  $Q$  punctiformă este prin definiție mărimea fizică vectorială care este egală cu forța coulombiană care se exercită asupra unei sarcini de probă (pozitivă) unitare aflate la o distanță  $\vec{r}$  de sursa de câmp (2).

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \cdot \frac{Q}{r^3} \vec{r} \left( \frac{V}{m} \right) \quad (1.2)$$

Reprezentarea grafică a câmpului electric se face prin *linii de câmp*. Liniile de câmp sunt liniile tangente în fiecare punct la vectorul  $\vec{E}$ . Un caz simplu este cel al sarcinii punctiforme pozitive, respectiv negative, aflate în vid departe de alte corpuri electrizate, pentru care câmpul electric se reprezintă ca în Fig. 1.5.

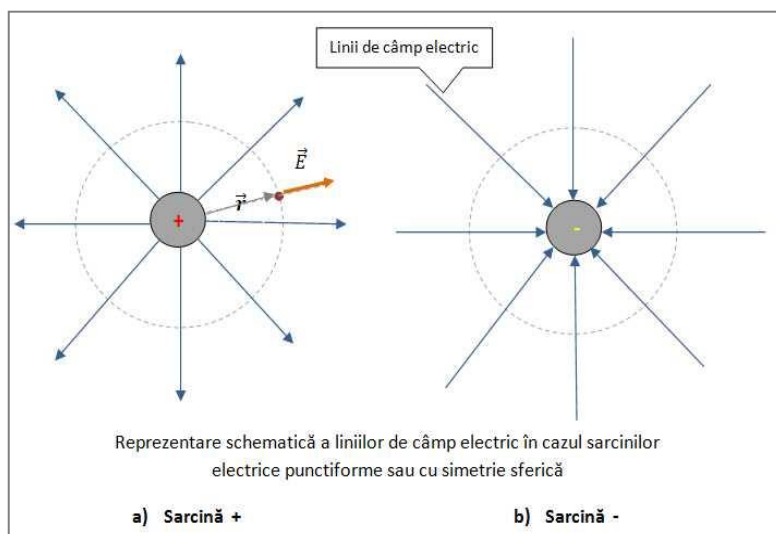


Fig. 1.5

Alte situații de interacțiuni dintre sarcini electrice prin intermediul câmpurilor pe care le generează sunt prezentate în Fig.1.6. Câmpurile sunt radiale dacă sunt generate de sarcini punctiforme sau cu simetrie sferică. În alte situații liniile de câmp au structuri mult mai complexe. Dacă liniile de câmp sunt paralele și echidistante, câmpul se numește uniform, iar intensitatea câmpului electric este constantă în fiecare punct. Anumite porțiuni ale câmpurilor electrice reprezentate în Fig.1.6 pot fi considerate uniforme.

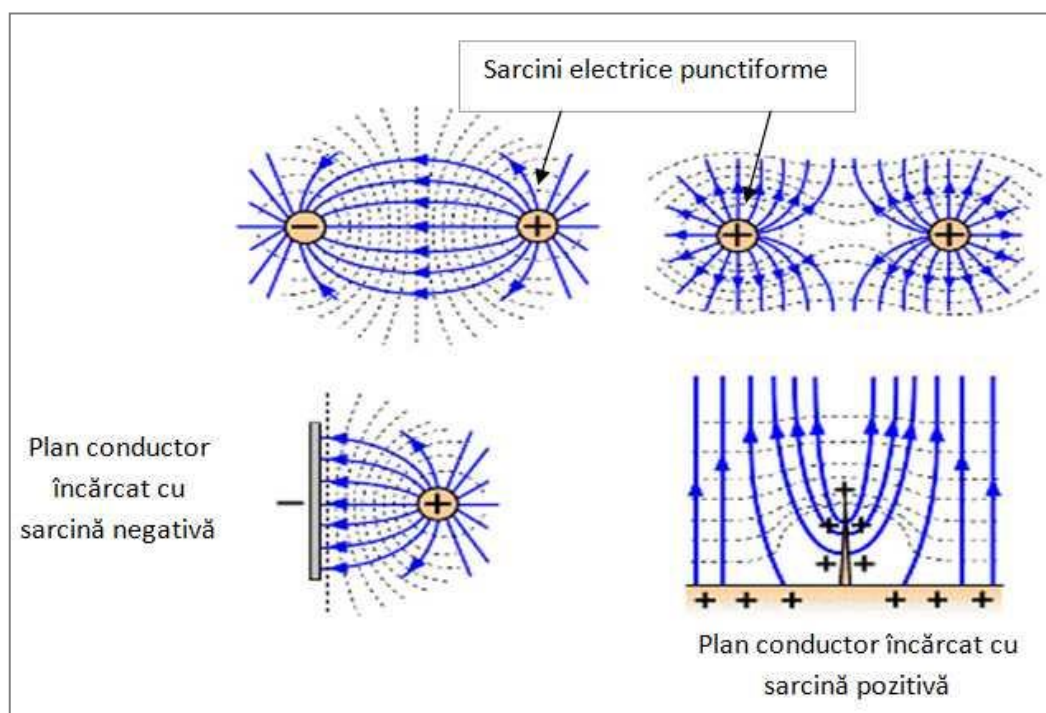


Fig. 1.6 Câmpul electric generat de diferite distribuții de sarcină electrică

Câmpuri electrice uniforme pot fi generate și vizualizate dacă într-un lichid vâscos cum ar fi uleiul punem semințe de mici dimensiuni și apoi introducem doi electrozi (de formă liniară de exemplu) care apoi sunt legați la o sursă de tensiune continuă sau o baterie. Se va observa în scurt timp că semințele din soluție de orientează formând dâre aproximativ paralele care indică orientarea liniilor de câmp electric dintre cei doi electrozi (Fig.8).

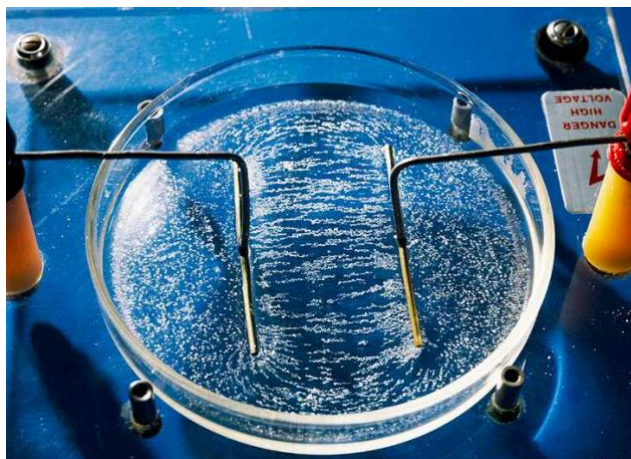


Fig. 1.7 Vizualizarea liniilor de câmp electric

Analizăm în continuare câteva aspecte calitative legate de acțiunea câmpurilor și a sarcinilor electrice asupra mediilor conductoare și dielectrice.

### 1.2.3 Comportarea în câmp electric a conductorilor

Într-un conductorul neutru aflat sub acțiunea unui câmp electric exterior sarcinile electrice libere se redistribuie, fenomen care se numește inducție electrostatică Fig. 1.8.

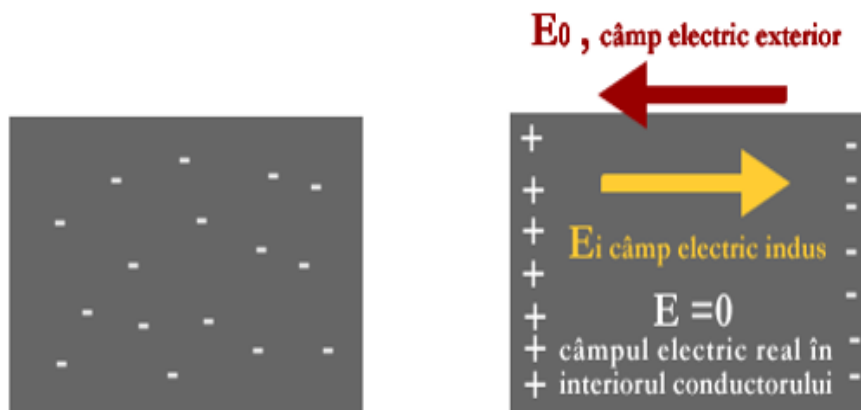


Fig. 1.8 Conductor metalic aflat în absența și în prezența unui câmp electric exterior

Electronii liberi se deplasează în sens invers câmpului electric exterior aplicat  $E_0$  ajungând pe fața dreaptă a conductorului, fața opusă rămânând cu sarcini electrice pozitive. În interiorul conductorului apare un câmp electric indus  $E_i$  (vectorul intensitate a câmpului electric este orientat de la + la -) care la echilibru este egal ca valoare cu câmpul exterior astfel încât global în interiorul conductorului intensitatea câmpului electric rezultat este zero  $E=0$ . Se realizează astfel echilibrul electrostatic. La echilibru electrostatic intensitatea câmpului electric este zero în interiorul unui conductor. Se demonstrează de asemenea că în aceste condiții potențialul electric este constant în interiorul conductorului adică volumul conductorului este echipotențial, la fel suprafața sa.

Liniile câmpului electric sunt întotdeauna perpendiculare pe suprafața unui conductor în echilibru electrostatic (Fig. 1.9 (a)).

În cazul conductorilor încărcăți cu sarcină electrică în echilibru electrostatic repartizarea sarcinilor electrice se face doar pe suprafața acestora. Acest fapt se explică prin existența forțelor de respingere dintre aceste sarcini. Repartizarea acestor sarcini electrice pe suprafața conductorilor nu este uniformă cu excepția conductorilor sferici. Densitatea sarcinilor este mai mare pe partea suprafeței conductorului care are o curbura mai mare (zone mai ascuțite). (Fig. 1.9(b))

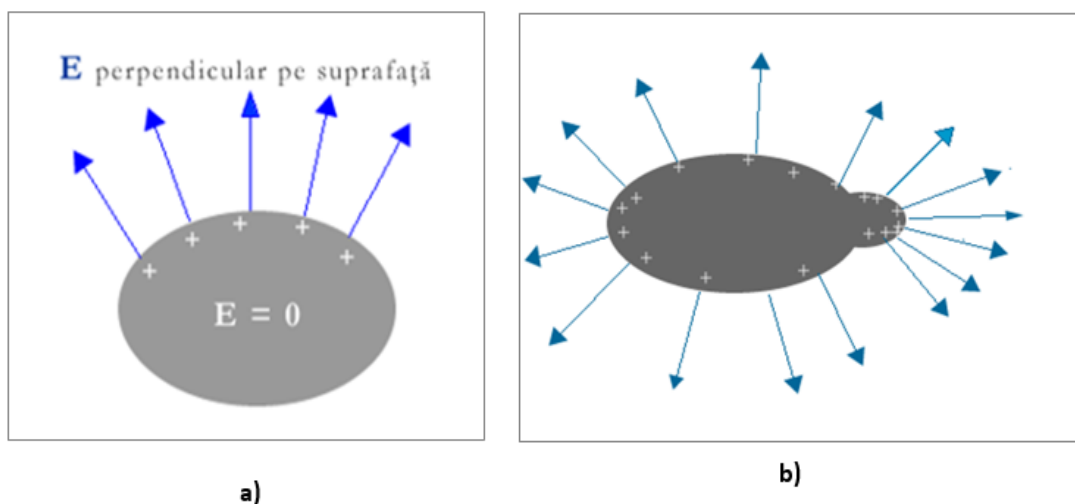


Fig. 1.9 (a) Câmpul electrostatic al unui conductor electrizat în echilibru  
 (b) Structura câmpului electric în funcție de raza de curbura a suprafețelor

În cazul conductorilor încărcăți cu sarcină electrică în echilibru electrostatic care au cavități, intensitatea câmpului electric în cavități este zero. Sarcina electrică se distribuie exclusiv pe suprafața exterioară a conductorului (Fig. 1.10). O aplicație importantă a acestei proprietăți a conductorilor este *cușca Faraday*. Obiectele pot fi protejate de acțiunea unor câmpuri electrice dacă ele sunt plasate în interiorul unor cavități sau cuști metalice. Aceste sisteme practic ecranează acțiunea oricăror câmpurilor electrice exterioare asupra obiectelor din interior

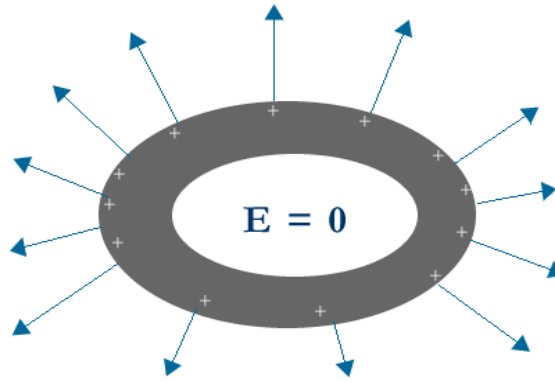


Fig. 1.10 Conductor electrizat care are cavitate

### 1.2.4 Comportarea dielectricilor în câmp electric

Dielectricii (izolatorii), spre deosebire de conductori, nu au în interior sarcini electrice libere ci doar sarcini electrice legate de atomii sau moleculele componente, atomii sau moleculele fiind pe ansamblu neutre din punct de vedere electric. Comportarea dielectricilor sub acțiunea câmpurilor electrice exterioare este determinată de posibilitatea ca sarcinile legate să se deplaseze sau nu. Există două tipuri de dielectrici:

- a) Dielectrici formați din molecule nepolare ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CCl}_4$ , etc)

În cazul moleculei nepolare centrele de masă ale sarcinilor pozitive și negative coincid. La introducerea unor dielectrici nepolari în câmp electric acesta acționează asupra moleculelor determinând o deplasare a centrului de masă a sarcinilor electrice pozitive în sensul câmpului și a sarcinilor electrice negative în sens opus, simetria moleculei din punct de vedere al sarcinilor electrice se modifică molecule devenind un dipol. Molecule se polarizează astfel prin *deplasare*.

Dacă privim un asemenea dielectric aflat în câmp electric el se va comporta așa cum este ilustrat în Fig. 1.11. În interiorul dielectricului sarcinile electrice se compensează (dielectricul rămâne neutru) dar pe fețele dielectricului perpendiculare pe direcția câmpului electric apar sarcini electrice necompensate pozitive și negative. Acest fenomen se numește *polarizarea dielectricului prin deplasare (electronică)*. Spre deosebire însă de conductori, în care, în câmp electric extern, are loc o redistribuire a sarcinilor electrice libere, în cazul dielectricilor nepolari are loc o deplasare a sarcinilor electrice legate pe distanțe foarte mici, de ordinul câtorva angstromi. Dacă se înlătură câmpul electric extern dielectricul revine la starea inițială.

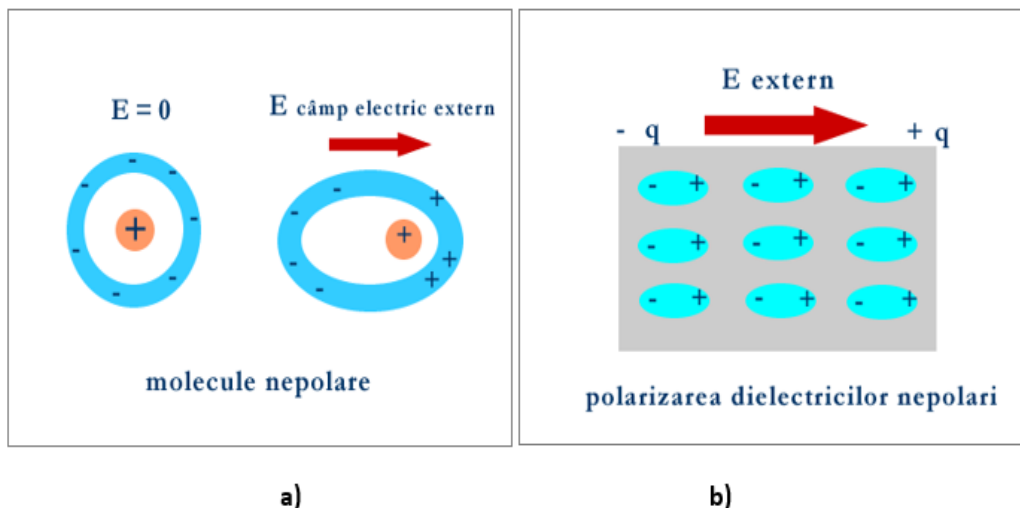


Fig. 1.11 (a) Moleculă nepolară și acțiunea câmpului electric asupra ei.

(b) Dielectric nepolar în câmp electric extern

b) Dielectrici formați din molecule polare (  $H_2O$  ,  $NH_3$  ,  $H_2S$ , etc )

În cazul moleculei polare centrele de sarcină ale sarcinilor pozitive și negative nu coincid. Cel mai cunoscut exemplu este molecula de apă. Dacă privim pe ansamblu un asemenea dielectric, în absența unui câmp electric extern, moleculele polare fiind orientate haotic datorită mișcării de agitație termică, dielectricul nu este polarizat. Dar dacă așezăm dielectricul într-un câmp electric extern, acesta acționează cu un cuplu de forțe asupra fiecărei molecule și reorientează moleculele paralel cu liniile câmpului electric aplicat. O orientare bună a moleculelor polare se obține la temperaturi mici (mișcare de agitație termică redusă) și valori mari ale intensității câmpului aplicat.

Acest tip de polarizare a dielectricului se numește *polarizare prin orientare*. Dacă dispare câmpul electric, mișcarea termică preia controlul și dielectricul se depolarizează (Fig.1. 12).

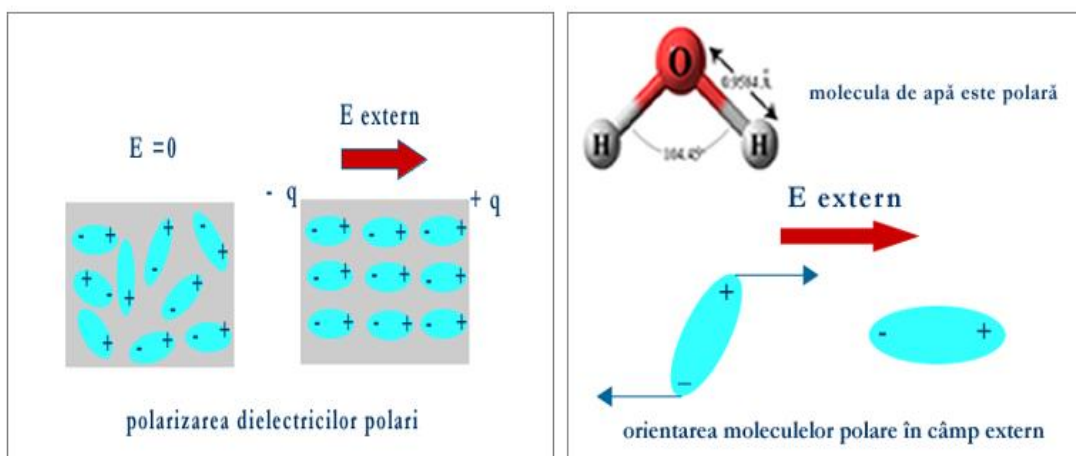


Fig. 1.12 Dielectrici polari



În cazul electrizării prin frecare a dielectricilor aceștia capătă sarcini nete (pozitive sau negative depinde de natura materialului) care rămân localizate în locul unde se produce frecarea fără a se deplasa în restul dielectricului (Fig. 1.13). Spre deosebire, în cazul conductorilor, sarcina electrică în surplus produsă prin frecare se răspândește în restul conductorului, pe suprafața mai exact, de unde se poate scurge în alte zone (dacă conductorul vine în contact cu alte corpuri de asemenea conductoare).



Fig. 1.13 Sarcină electrică localizată

### 1.2.5 Generatorul Van der Graff

Generatorul Van der Graff este un dispozitiv care utilizează frecarea pentru a obține acumulări foarte mari de sarcini electrice și prin urmare potențiale electrice foarte mari. El a fost inventat de fizicianul american Robert J. Van der Graff (deși ideea din spatele invenției era mult mai veche) care în anul 1929 prezintă o primă variantă a acestui generator. În anul 1931 un model de asemenea generator a reușit să producă 1 milion de volți = 1MV (un mega volt). Mai recent au fost construite generatoarele Van der Graff tandem (grupuri de unul sau mai multe asemenea generatoare), care pot obține potențiale foarte mari, maximul atins până în prezent fiind de 25,5 MV. Asemenea sisteme sunt folosite la accelerarea electronilor, ionilor, protonilor sau a altor particule elementare pentru studii avansate de fizică nucleară.

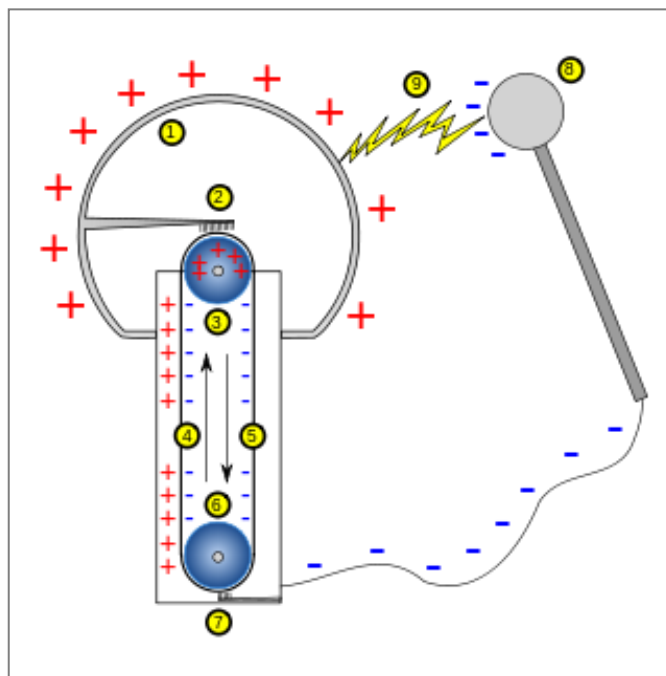


Fig. 1.14 Schema de principiu a generatorului Van der Graff [6]

Generatorul Van der Graff are următoarele părți componente:

1. Sferă metalică exterioară.
2. Perie metalică superioară.
3. Rolă superioară.
4. Bandă de cauciuc, mătase sau alt material dielectric (partea exterioară se încarcă cu sarcini electrice pozitive).
5. Bandă de cauciuc (partea interioară se încarcă cu sarcini electrice negative).
6. Rolă inferioară metalică.
7. Electrode inferior împământat.
8. Sferă metalică mică care se încarcă cu sarcini negative.
9. Scânteie produse la descărcarea electrică a celor două sfere.

Prin rotirea benzii de cauciuc (se poate face manual sau automat în cazul în care avem cuplat un motor electric) ca urmare a frecării cu peria se vor produce sarcini electrice. Sarcinile de un semn, să zicem pozitive, vor trece pe sfera superioară iar celelalte de semn opus prin se vor acumula pe sfera mică sau se vor scurge la Pământ dacă sfera mică nu există. Dacă rotația continuă numărul de sarcini electrice acumulate pe sfera mare va fi din ce în ce mai mare. Dacă cele două sfere se pun în contact sau dacă sunt aduse aproape se produce o descărcare electrică care anulează sarcinile acumulate. Potențialul maxim pe care îl poate acumula un asemenea sistem depinde de raza sferei mari (poate să nu fie chiar o sferă). De exemplu dacă sfera superioară are un diametru de 30 cm și se află situată în aer în condiții normale de temperatură și presiune atunci poate atinge un potențial maxim de aproximativ 450 kV. Valoarea este limitată de tensiunea de străpungere a aerului care este în jur de 30 kV/cm, valoarea de la care aerul se ionizează și apar descărcări electrice în aer care descarcă sfera.

### 1.3 Cerinte

#### A. Experimentul 1

Având la dispoziție diferite dispozitive: baloane, bucăți de hârtie, materiale plastice, pendule electrostatice, electroscop, alte corpuri conductoare și un generator Van der Graff se va pune în evidență electrizarea prin frecare, contact și influență (Fig. 1.15) și ( Fig 1.16).

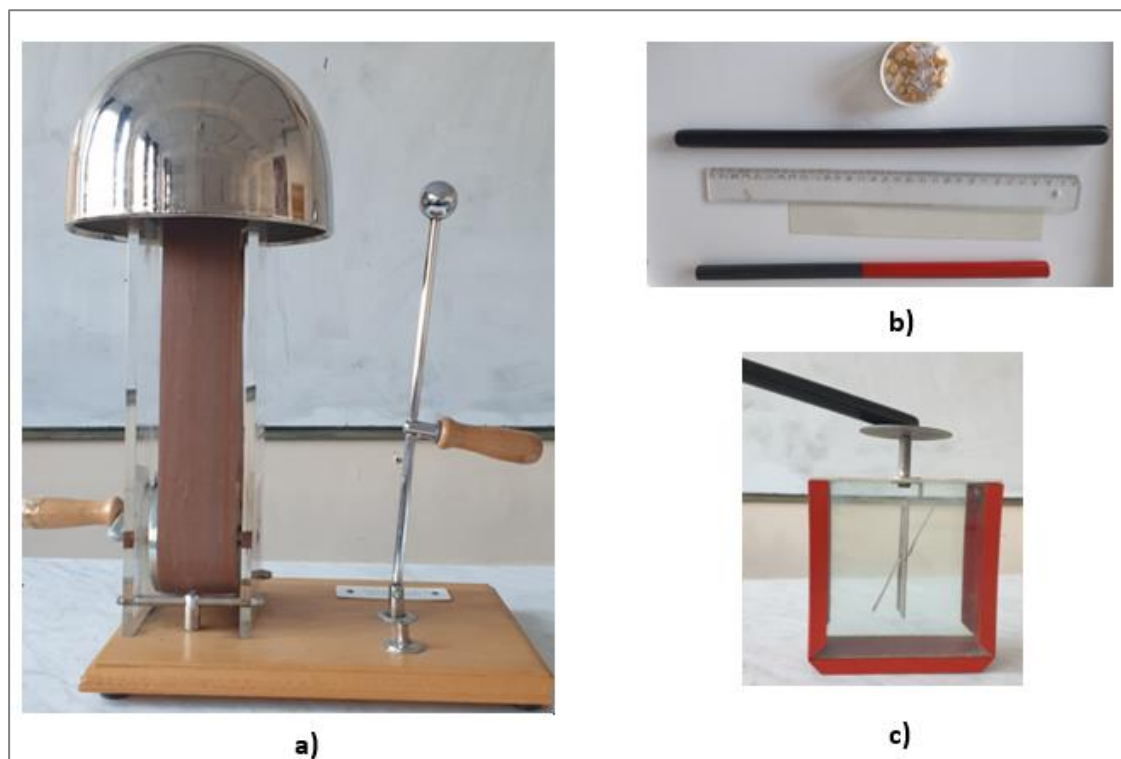


Fig 1.15 (a) Generator Van der Graff (b) materiale dielectrice (c) electroscop

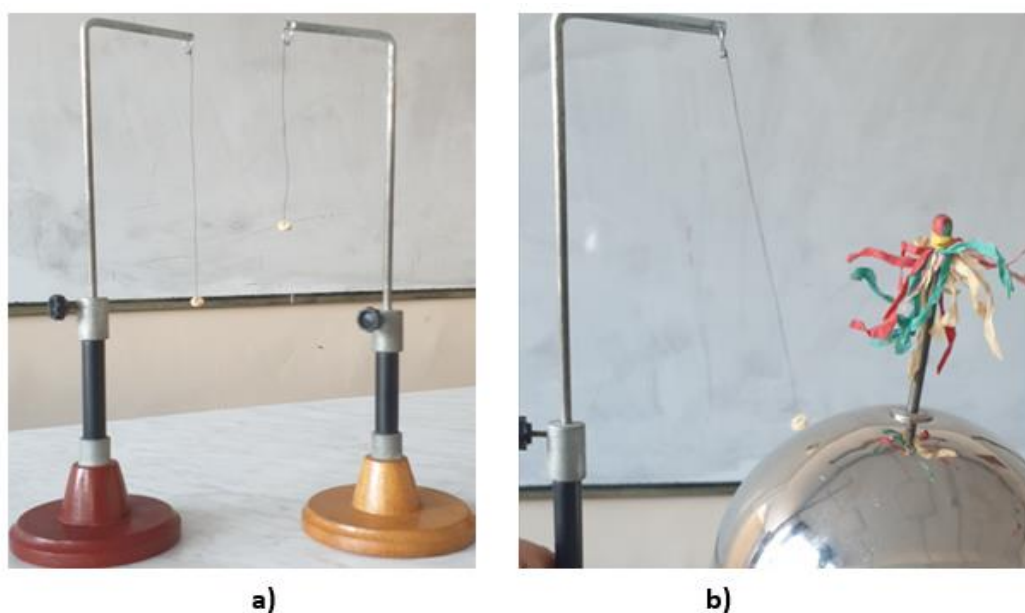


Fig 1.16 (a) Pendule electrostatice (b) Electrizarea pendulului electrostatic cu generatorul Van der Graff

## B. Experimentul 2

Se va evidenția fenomenul de ecranare electrostatică utilizând un corp conductor gol în interior sau cușcă metalică și un generator Van der Graff.

**Cușca Faraday cu pendule electrostatice**



Sfera generatorului Van der Graff nu este încărcată cu sarcină electrică



Sfera generatorului Van der Graff este încărcată cu sarcină electrică

Fig. 1.17 Ecranarea electrostatică – Cușca Faraday

## 2. Suprafețe echipotențiale și linii de câmp electric

### 2.1 Obiective

- ✓ Înțelegerea relației dintre suprafețele echipotențiale și câmpul electric.
- ✓ Identificarea experimentală a suprafețelor echipotențiale pentru configurații simple de conductori încărcăți cu sarcină electrică.
- ✓ Utilizarea unor instrumente experimentale adecvate pentru măsurare.

### 2.2 Introducere teoretică

Diferența de potențial dintre două puncte ale unui câmp electric este egală cu minus lucrul mecanic efectuat de forța câmpului electric pentru a deplasa unitatea de sarcină pozitivă între acele puncte.

$$\Delta V = V_A - V_B = U_{AB} = \frac{L_{AB}}{q_0} = \int_A^B \vec{E} \cdot \vec{dr} \quad (2.1)$$

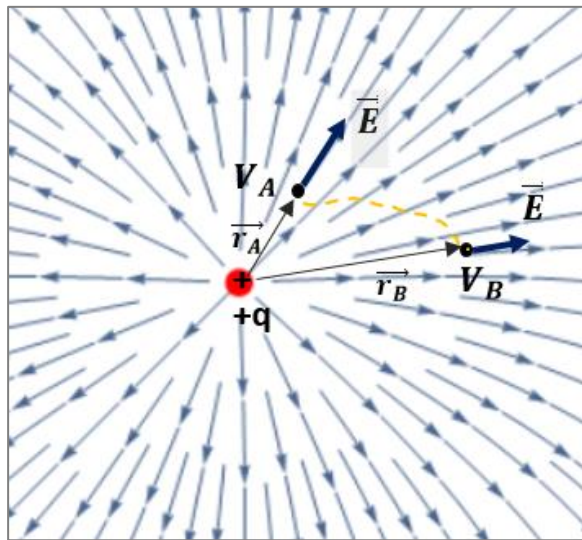


Fig. 2.1 Reprezentarea câmpului electric produs de sarcina punctiformă pozitivă

Potențialul electric într-un punct al câmpului se stabilește în raport cu un punct de referință căruia prin convenție i se atribuie ca valoare zero  $V_0 = 0$ .

$$V_A = V_0 + \int_A^0 \vec{E} \cdot \vec{dr} \quad (2.2)$$

Suprafața echipotențială este locul geometric al punctelor de potențial constant. Lucrul mecanic la deplasarea unei sarcini pe o suprafață echipotențială este egal cu zero iar liniile de câmp sunt perpendiculare pe suprafețele echipotențiale. În Fig. 2.2 sunt reprezentate suprafețele echipotențiale din jurul unei sarcini electrice pozitive. Imaginea, deși este reprezentată în plan, trebuie extrapolată la spațiul tridimensional din jurul sarcinii electrice. Pe sfera A potențialul este:

$$V_A = \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{q}{r_A} \quad (2.3)$$

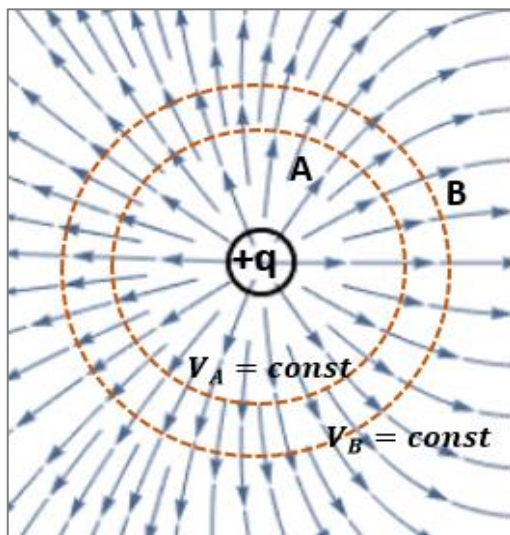


Fig. 2.2 Suprafețe echipotențiale în jurul unei sarcini electrice pozitive punctiforme

Suprafețele echipotențiale ( $V_A = \text{const.}$ ,  $V_B = \text{const.}$ ) sunt sfere care înconjoară sarcina electrică, vectorii intensitate a câmpului electric fiind pe direcția razelor acestor sfere.

O altă situație particulară este cazul condensatorului plan. Un condensator plan este un sistem de două plăci conductoare plane paralele numite armături între care se află un mediu izolator, de exemplu aer (Fig. 2.3)

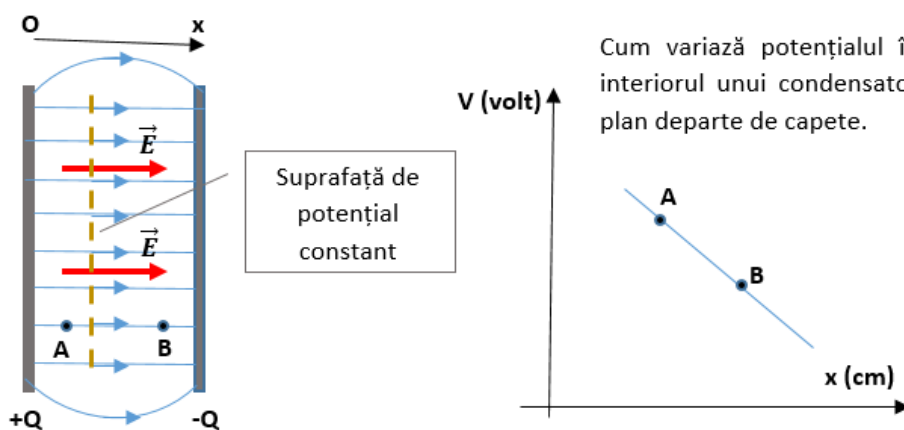


Fig. 2.3 Câmpul electric și potențialul în interiorul unui condensator plan

În interiorul condensatorului, la distanțe mari de capetele armăturilor câmpul electric este uniform, liniile de câmp fiind paralele și echidistante. Intensitatea câmpului în condițiile în care densitatea de sarcină electrică pe o armătură este  $\sigma = \frac{Q}{S}$  se exprimă:

$$\vec{E} = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \vec{x} \quad (2.4)$$

Diferența de potențial dintre cele două armături este:

$$U = Ed \quad (2.5)$$

Iar potențialul electric într-un punct aflat în interiorul condensatorului la distanța  $x$  de armătura considerată la potențial 0 este :

$$V(x) = Ex \quad (2.6)$$

### 2.3 Metoda experimentală

Sunt necesare următoarele componente și instrumente:

- Hârtie conductivă de carbon
- Diferite tipuri de elemente conductoare: electrozi metalici liniari, sferici sau cilindrici
- Fire conductoare
- Generator electric de tensiune continuă
- Voltmetru

Se va studia distribuția suprafețelor echipotențiale în cel puțin două configurații.

(a) Cazul condensatorului plan, Fig. 2.4(a). Se vor folosi doi conductori liniari așezați pe hârtia conductoare. Se vor conecta electrozii la generatorul electric (0-12)V, max 25mA cc.

(b) Cazul a doi conductori sferici echivalenți unui dipol electric, Fig. 2.4(a). Doi conductori sferici de mici dimensiuni se vor așeza la o anumită distanță pe hârtia conductoare. Se vor conecta la generator (0-12)V, max 25mA cc.

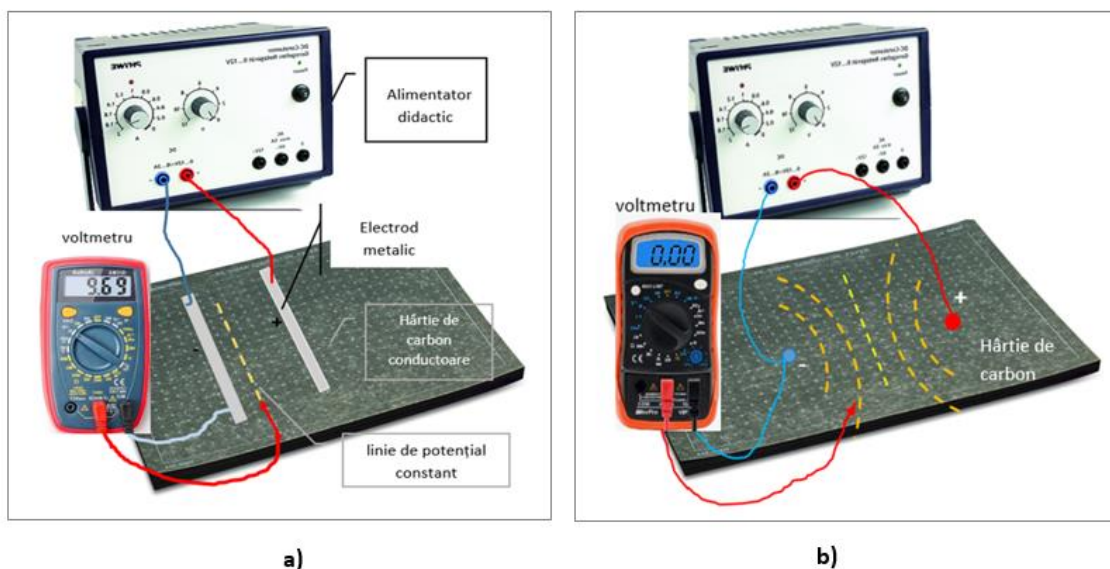


Fig. 2.4 (a) Cazul condensatorului plan (b) Cazul a două sarcini punctiforme de semn opus.

Voltmetru se leagă astfel încât să se poată măsura potențialul electric în zona dintre electrozii conectați la generator. Borna COM a voltmetrului se va lega la electrodul de potențial 0 atașat generatorului, la cealaltă bornă a voltmetrului se va atașa un terminal care va glisa pe hârtia conductoare în spațiul dintre electrozi astfel încât să indice potențialul electric corespunzător fiecărui punct.

## 2.4 Cerințe

### A. Experimentul 1

Pentru ambele situații experimentale descrise în Fig. 2.4 (a) și (b) se va măsura potențialul electric în diferite puncte ale câmpului electric dintre electrozi și se vor identifica și desena suprafețele echipotențiale corespunzătoare.

### B. Experimentul 2

Pentru cazul condensatorului plan se va investiga și răspunde la următoarele întrebări: (a) Cum este câmpul electric în exteriorul condensatorului? (b) Cum afectează suprafețele echipotențiale și câmpul electric interior modificarea lungimii electrozilor care alcătuiesc condensatorul și distanța dintre ei?

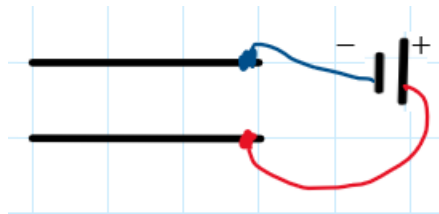


Fig. 2.5 Modul de legare al electrozilor la condensatorul plan

### C. Experimentul 3

Pentru cazul dipolului electric se va investiga: (a) care este relația dintre gradientul intensității câmpului electric și linia care definește suprafața echipotențială. (b) Cum influențează câmpul electric faptul că hârtia conductoare are suprafață finită. (c) Cum influențează suprafețele echipotențiale și câmpul electric înlocuirea dipolului („+q”; „-q”) cu dipolul („+q”; „+q”).

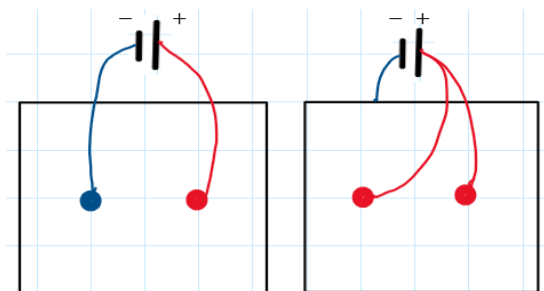


Fig. 2.6 Trecerea de la dipolul (+,-) la (+,+)



### 3. Circuite electrice de curent continuu

#### 3.1 Obiective

- ✓ Realizarea practică a unor circuite serie și paralel de curent continuu, înțelegerea modului de funcționare al acestora și a rolului generatorului electric în circuit.
- ✓ Utilizarea corectă a aparatelor de măsură (ampermetru, voltmetru, ohmetru) în circuitele electrice. Utilizarea senzorilor de curent și tensiune în circuitele electrice ca alternativă la aparatele de măsură clasice.
- ✓ Măsurarea rezistivității electrice a unor conductori ca exemplu de înțelegere și verificare practică deprinderilor de analiză experimentală a unor mărimi fizice caracteristice conductorilor electrice.
- ✓ Verificarea experimentală a legilor circuitelor electrice: Ohm, Kirchhoff.

#### 3.2 Introducere teoretică

**Curentul electric** este o mișcare ordonată de purtători de sarcină electrică. Existența curentului electric este legată de prezența unor sarcini electrice libere în diferite medii sau materiale. În izolatori (în condiții normale) nu există asemenea sarcini electrice libere deci nici posibilitatea apariției curentului electric. În metale conducția electrică este asigurată de electronii de valență slab legați de nucleul atomic care devin electroni liberi. Un câmp electric extern aplicat la capetele conductorului determină deplasarea ordonată a electronilor liberi în sens invers intensității câmpului electric aplicat. Acesta este curentul electric. Sensul convențional al curentului electric este invers mișcării reale a electronilor.

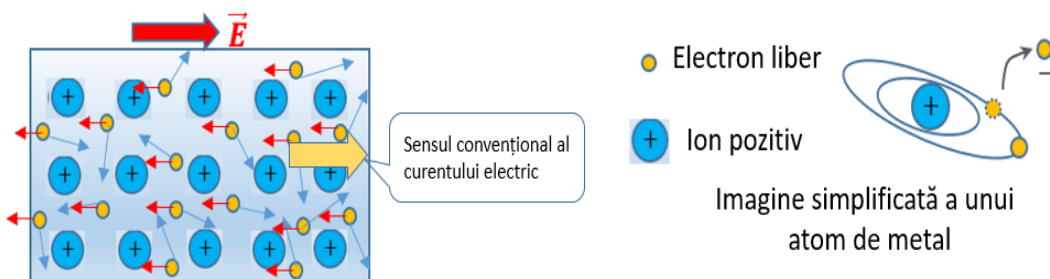


Fig. 3.1 Curentul electric în metale

**Intensitatea curentului electric** într-un punct al unui conductor reprezintă sarcina electrică care trece în unitatea de timp printr-o secțiune transversală a unui conductor.

$$i(t) = \frac{dq}{dt} \quad (3.1)$$

Unitatea de măsură este amperul, care corespunde trecerii unui coulomb (aproximativ  $6 \cdot 10^{18}$  sarcini elementare) în timp de o secundă. Amperul este unitatea fundamentală în SI.

**Curentul** se numește **continuu** sau **staționar** dacă intensitatea curentului este constantă în timp în orice punct al circuitului, sensul curentului nu se modifică și electronii se mișcă cu viteză constantă. Sensul convențional al curentului electric este de la borna „+” la „-” a generatorului pe circuitul exterior generatorului, același cu sensul câmpului electric aplicat în cazul conducției în metale. (Fig. 3.2)

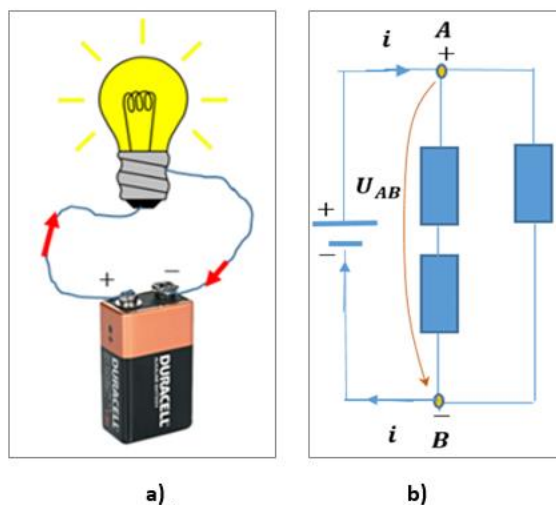


Fig. 3.2 (a) Circuit electric simplu (b) Circuit ramificat cu mai mulți consumatori

Existența curentului electric pe o porțiune a unui circuit electric este determinată de existența unei **tensiuni electrice** sau a **unei diferențe de potențial electric** la bornele acelei porțiuni de circuit. (Fig. 3.2 (b)). Tensiunea electrică între două puncte se definește prin lucrul mecanic efectuat de câmpul electrostatic la deplasarea unei sarcini pozitive de valoare unitară pe acea porțiune.

$$U_{AB} = \frac{L_{AB}}{q} \quad (3.2)$$

**Tensiunea electrică** între două puncte ale unui circuit este practic energia pe care trebuie s-o transferăm pe unitatea de sarcină electrică pentru a deplasa sarcinile electrice (electronii de conducție) pe acea porțiune. Se măsoară în volți. Energia este transferată de generatorul electric (element activ al circuitului) și este primită de alte elemente de circuit, respectiv conductori, consumatori electrice etc care sunt elemente pasive de circuit. Curentul electric intră în elementul de circuit pe la borna de potențial ridicat (+), sarcinile electrice sunt accelerate de câmpul electrostatic și "frânate" prin interacția cu structura internă a elementului de circuit. În acest caz, elementul de circuit este un consumator de energie electrică, așa cum este cazul porțiunii AB din figură. Într-un consumator de energie electrică, curentul curge de la borna cu potențial ridicat (+) la borna cu potențial coborât (-). Noțiunile de (+) și (-) sunt de fapt o convenție. În interiorul generatorului curentul curge de la borna cu potențial scăzut (-) la borna cu potențial ridicat (+).

**Tensiunea electromotoare a generatorului (t.e.m)** se definește prin lucrul mecanic efectuat de câmpul electrostatic la deplasarea unei sarcini pozitive de valoare unitară pe tot circuitul inclusiv prin generator.

$$E = \frac{L_{total}}{q} \quad (3.3)$$

Generatorul electric este un element activ de circuit și furnizează energie electrică elementelor pasive de circuit. El are această energie stocată (energia chimică furnizată de elementele galvanice) în interior sau o primește din exterior sub o altă formă (lumină în cazul fotoelementelor, mecanică în cazul generatoarelor hidrocentralelor, etc).

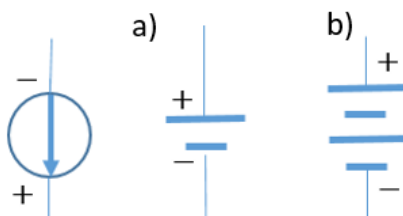


Fig. 3.3 (a) Generator de tensiune continuă (b) Baterie de generatoare

**Rezistența electrică** este o mărime fizică care reflectă gradul în care un material se opune trecerii curentului electric. Electronii care participă la conducția electrică nu se deplasează într-un spațiu gol ci în rețeaua cristalină a metalelor care alcătuiesc circuitele electrice. Metalele sunt cristale, rețeaua cristalină a celor mai comune ( Cu, Al, Ni, Ag, Au) este de tip cubic cu fețe centrate sau cubic cu volum centrat (Fe, Cr) având atomii în colțurile cuburilor și fețelor respectiv în centrul cuburilor. ( Fig. 3.4) Electronii liberi aparțin întregii structuri și nu unui atom particular și se mișcă liber ca un fel de gaz în rețeaua cristalină. Abilitatea electronilor de a traversa cristalul definește conductivitatea electrică a acestuia dar și alte proprietăți ale metalelor.

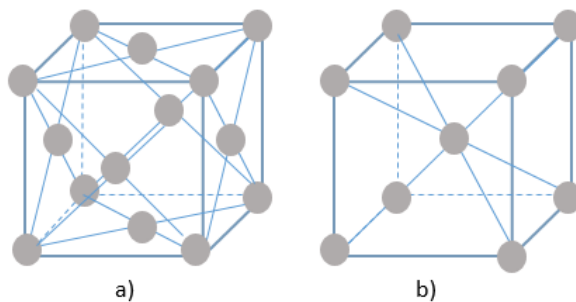


Fig. 3.4 (a) Sistem cubic cu fețe centrate (b) sistem cubic centrat

Rezistența electrică este inversa conductivității și este definită prin raportul dintre tensiunea electrică la bornele unui element de circuit și intensitatea curentului care îl parcurge. Se măsoară în ohmi.

$$R = \frac{U}{I} \quad (3.4)$$

Orice element de circuit are o rezistență electrică. În multe situații anumite elemente de circuit cum ar fi conductorii de legătură au valoarea rezistenței electrice neglijabile.

Pentru un conductor omogen rezistența electrică depinde de lungimea conductorului  $l$ , de aria secțiunii transversale  $S$  și de material prin rezistivitate  $\rho$  [ $\Omega m$ ].

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (3.5)$$

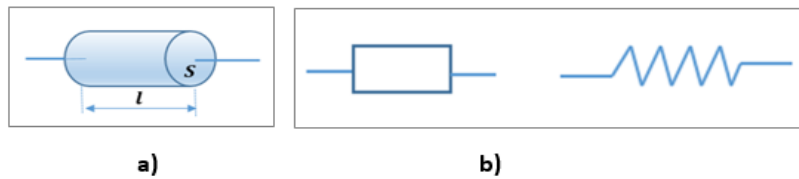


Fig. 3.5 (a) Fir conductor ca rezistor (b) Simbolul rezistențelor în circuitele electrice

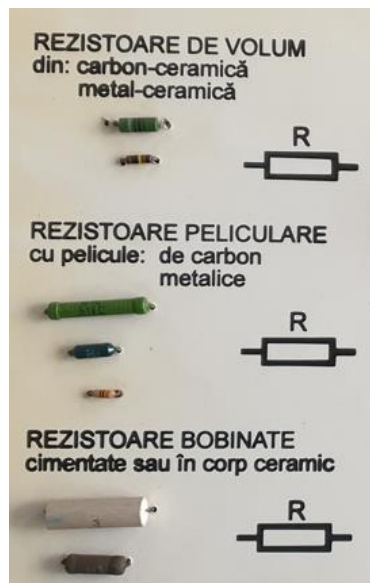


Fig. 3.6 Exemple de rezistoare

### 3.3 Cerințe

Dispozitivul experimental va fi constituit din următoarele elemente:

- Sursă de tensiune continuă 230V, DC: 0-12V, 0-2A .
- Multimetre digitale DC 0-20V, 0-20A.
- Senzor de curent și senzor de tensiune PHYWE.
- Rezistori de diferite valori ale rezistențelor (100, 470, 1000, ... $\Omega$ ).
- Conductorii de legătură și placă suport pentru realizarea circuitelor.
- Fire de Cu, Fe, Constantan.

- A. Se vor analiza generatorul de tensiune continuă 0-12 V cc și multimetrele utilizate în realizarea măsurătorilor. Se va stabili modul de conectare al generatorului, legarea corectă a voltmetrului și ampermetrului în circuit, utilizarea bornelor multimetrului și a butonului comutator pentru măsurarea intensității curenților respectiv tensiunilor electrice în curent continuu.

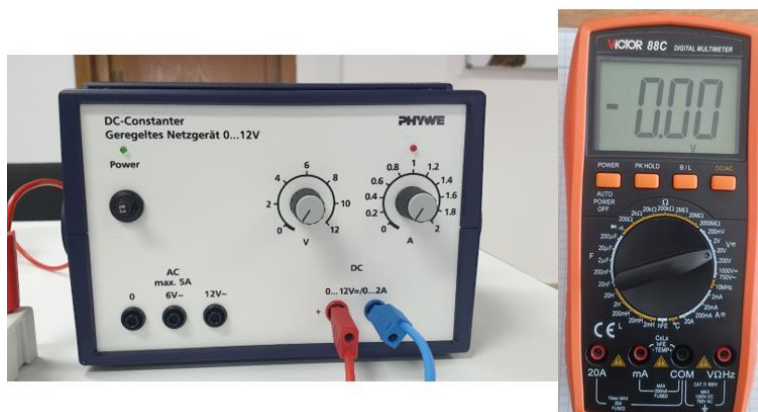


Fig. 3.7 Generator electric și multimetru

## B. Experimentul 1

### Circuite serie

1. Se vor realiza circuite serie formate din 3 rezistori. Generatorul electric va fi utilizat în regim de tensiune continuă astfel încât intensitatea curentului să fie maxim de 200mA iar tensiunea aplicată (0-10)V.
2. Se va conecta un multimetru pentru a măsura intensitatea curentului în circuit pe scala de (0-200)mA . Se pornește de la tensiunea electrică a generatorului  $U = 0V$  și se crește valoarea. Se vor formula concluzii privind modul în care variază intensitatea curentului în circuit.
3. Se va conecta un alt multimetru ca voltmetru și se va măsura tensiunea electrică la bornele fiecărui rezistor și se va compara cu tensiunea măsurată la bornele grupării de rezistori și cu tensiunea electromotoare a generatorului. Se vor formula concluzii privind măsurătorile efectuate. Se va completa tabelul 3.1.

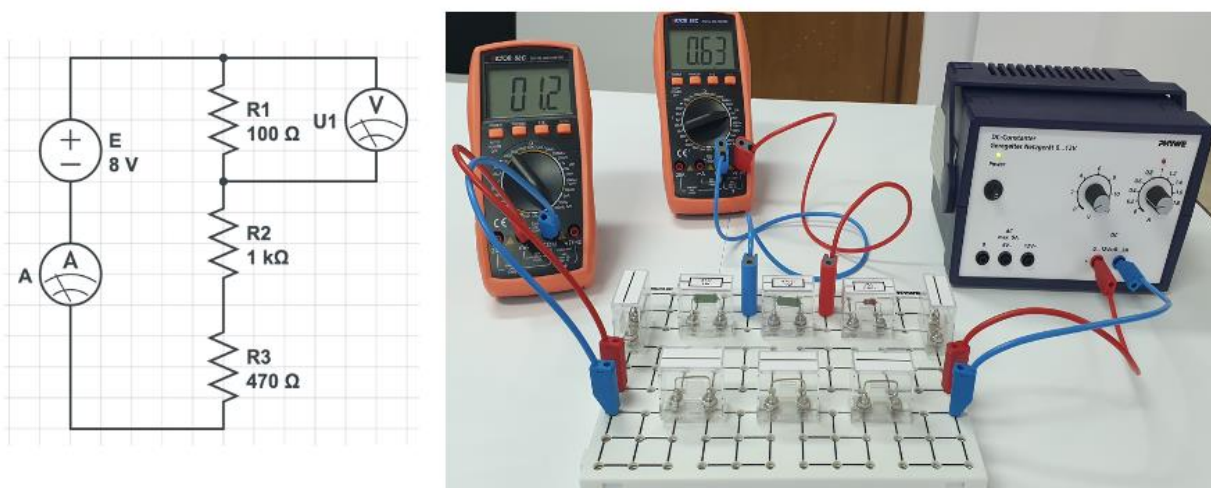


Fig. 3.8 Circuit serie

E (V)	$U_{R1}(V)$	$U_{R2}(V)$	$U_{R3}(V)$	$U_{R1+U_{R2}+U_{R3}} (V)$
6				
8				
Concluzii...				

Tabelul 3.1 Tensiunile electrice la bornele unei grupări serie de consumatori

### C. Experimentul 2 Circuite paralel

1. Se va realiza un circuit paralel format din 3 rezistori. Se vor conecta voltemtru și ampermetrul conform schemei electrice de mai jos. Regimul de funcționare al aparatelor va fi în curent continuu : generatorul (0-12)V, ampermetrul pe scala de 200mA, voltmetrul pe scala de 20V.
2. Se vor conecta 3 ampermetre pentru a măsura intensitatea curentului electric pe fiecare ramură a circuitului format din cei trei rezistori și se va verifica legea I a lui Kirchhoff,  $I = I_1 + I_2 + I_3$ .

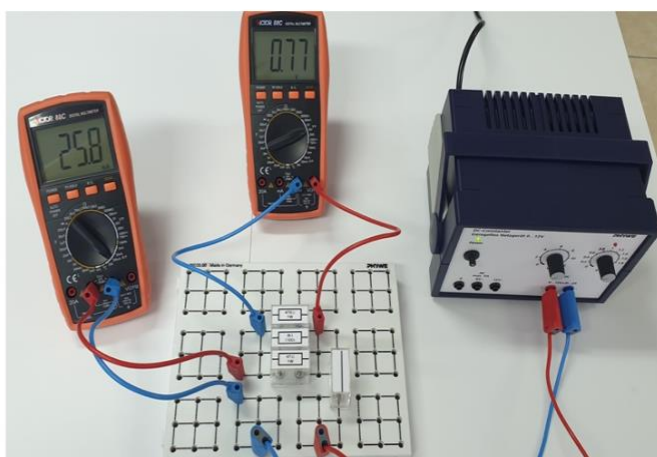
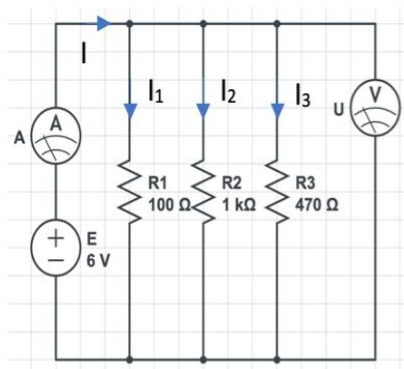


Fig 3.9 Circuit paralel

U(V)	I (mA)	I <sub>1</sub> (mA)	I <sub>2</sub> (mA)	I <sub>3</sub> (mA)
6				
8				
Concluzii.....				

Tabelul 3.2 Verificarea legii lui Kirchhoff la gruparea paralel de consumatori

### D. Experimentul 3

#### Verificarea legii a II-a a lui Kirchhoff

Legea a II-a a lui Kirchhoff se aplică ochiurilor de rețea. Afirmă următoarele: suma algebrică a produselor dintre rezistența electrică și intensitatea curentului pe un ochi de rețea este egală cu suma algebrică a tensiunilor electromotoare.

$$\sum_i R_i I_i = \sum_k E_k \quad (3.6)$$

Un exemplu de aplicare avem pe circuitul electric de mai jos. Se consideră un sens de parcurs al celor două ochiuri, în raport cu acesta legea lui Kirchhoff se scrie conform ecuațiilor (3.7), (3.8) .

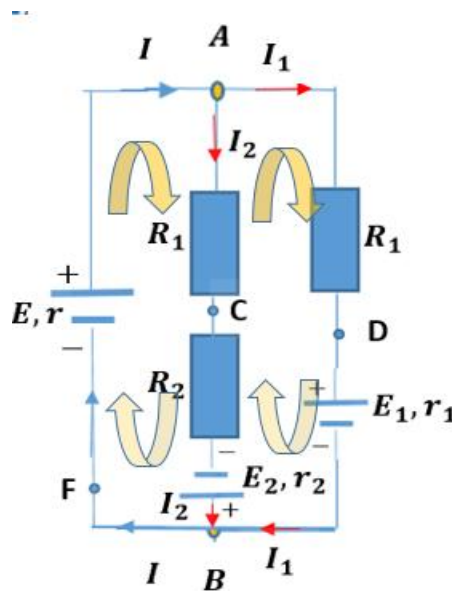


Fig. 3.10 Exemplu de ochi de rețea

$$I_1(R_1 + r_1) - I_2(r_2 + R_2 + R_1) = -E_1 - E_2 \quad (3.7)$$

$$+I_2(r_2 + R_2 + R_1) + Ir = E + E_2 \quad (3.8)$$

Pentru verificarea experimentală a legii se va folosi modulul din Fig. 3.11. Se vor monta corespunzător aparatele de măsură, respectiv ampermetrele. Se vor seta generatoarele electrice pe tensiunea electromotoare indicată. Se vor măsura intensitățile curenților pe fiecare ramură de rețea. Se vor scrie corespunzător legile lui Kirchhoff și se va verifica corespondența dintre valorile calculate și cele măsurate.

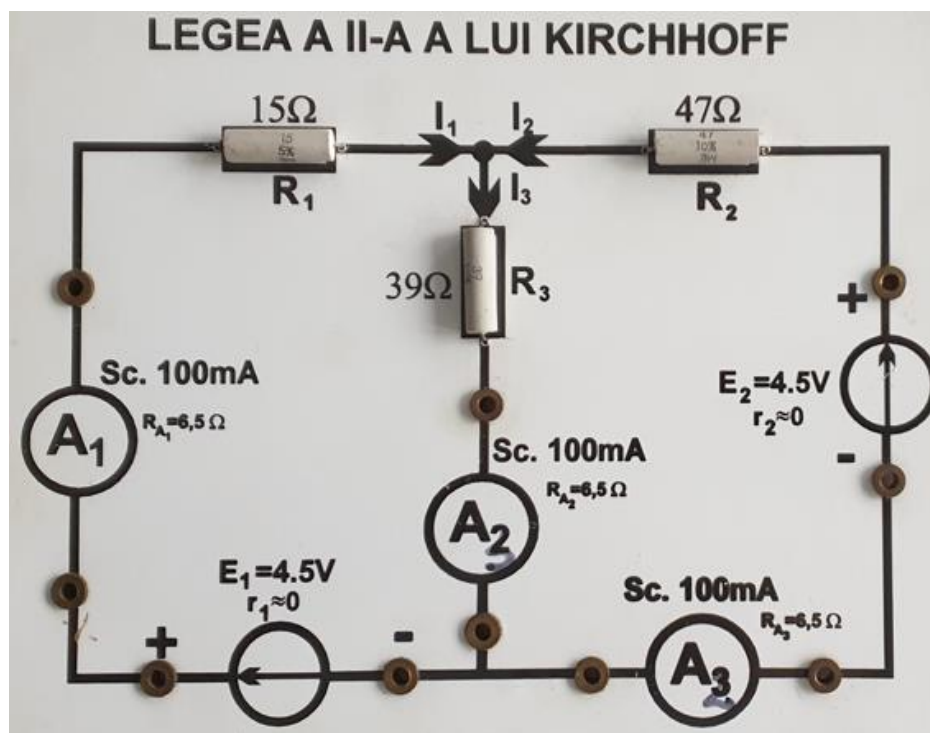


Fig. 3.11 Modul pentru verificarea legii a II-a a lui Kirchhoff

### E. Experimentul 3

#### Utilizarea senzorilor de tensiune și curent

În cazul unui circuit electric alternativ utilizării multimetrelor ca aparate de măsură se vor folosi senzori de tensiune și curent precum și aplicația corespunzătoare pentru înregistrarea automată a datelor în computer astfel:

- Cobra SMARTsense Current - Sensor  $\pm 1$  A (Bluetooth + USB)
- Cobra SMARTsense Voltage - Sensor  $\pm 30$  V (Bluetooth + USB)
- measureAPP-PHYWE

Senzorii de conectează în locul voltmetrului și a ampermetrului ( Fig 3.12). Aplicația MeasureAPP se poate instala pe computer sau pe telefon. Senzorii atunci când sunt activi se conectează la aplicație prin Bluetooth . In cazul folosirii unui computer senzorii se pot conecta la computer și prin cablu USB.



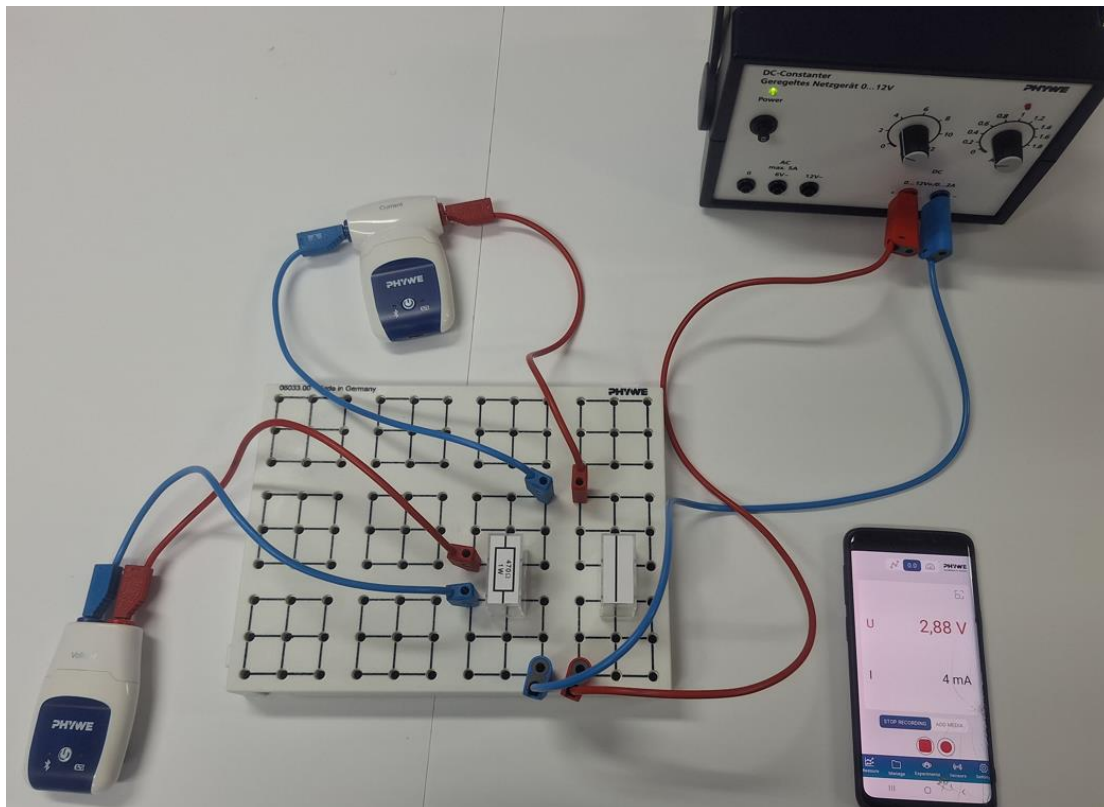


Fig. 3.12 Conectarea senzorilor de curent și tensiune într-un circuit

Se vor face realiza diferite circuite, se va studia modul de lucru al aplicației și se vor realiza măsurători utilizând senzorii. Se vor compara valorile măsurate cu cele ale unor multimetre.

## F. Experimentul 4

### Determinarea rezistivității electrice a unor fire conductoare

Rezistivitatea electrică a unui fir conductor definește comportarea unui anumit material la trecerea curentului electric. Se poate determina experimental utilizând relația (3.9), semnificația mărimilor fiind cea precizată în introducere.

$$\rho = R \frac{S}{l} \quad (3.9)$$

Având la dispoziție mai multe tipuri de fire conductoare (vezi Tabelul 3.3) se va realiza circuitul electric (Fig. 3.13). Se va determina în primă fază rezistența electrică a firului și apoi rezistivitatea conform relației (3.9).

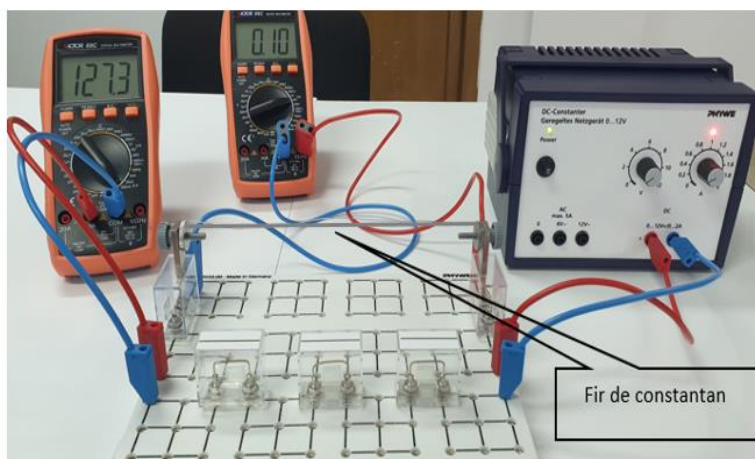
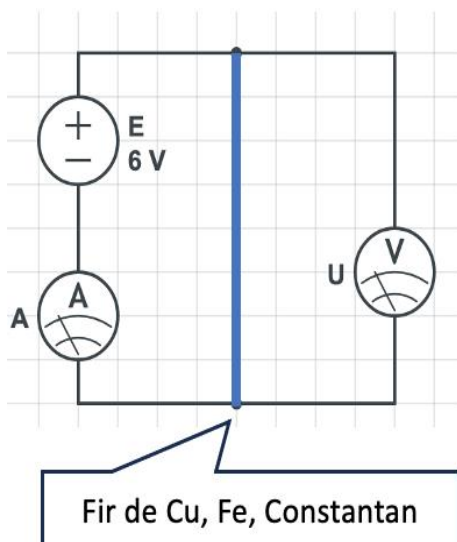


Fig. 3.13 Circuit pentru determinarea rezistivității

Material	U(V)	I(mA)	R( $\Omega$ )	$\rho(\Omega\text{m})$
Constantan diametru 0,2mm lungime 15-20cm				
Fe diametru 0,2mm lungime 15-20cm				
Cu diametru 0,2 mm lungime 15-20 cm				
Concluzii: <ul style="list-style-type: none"> <li>• se va compara cu valorile standard pentru rezistivități ale materialelor utilizate</li> <li>• se vor analiza sursele de erori experimentale și se va discuta diferențele între valorile determinate experimental și cele standard.  <math>\rho_{\text{Cu}} = 1,68 \cdot 10^{-8} \Omega\text{m}</math>, <math>\rho_{\text{Fe}} = 1 \cdot 10^{-7} \Omega\text{m}</math>, <math>\rho_{\text{Constantan}} = 4,9 \cdot 10^{-7} \Omega\text{m}</math> ( la <math>20^{\circ}\text{C}</math>)</li> <li>• Deși Fe este mai ieftin decât Cu de ce pentru realizarea circuitelor electrice în practică este preferat Cu?</li> </ul>				

Tabelul 3.3 Determinarea rezistivității

## 4. Legea lui Ohm

### 4.1 Obiective

- ✓ Verificarea legii lui Ohm pe o porțiune de circuit în cazul unui rezistor liniar.
- ✓ Studiul caracteristicii curent-tensiune pentru un rezistor liniar.
- ✓ Determinarea unor rezistențe necunoscute prin metode simple, metoda ampermetrului și voltmetrului, metoda directă.

### 4.2 Introducere teoretică

Dacă la capetele unui conductor metallic se aplică o tensiune electrică continuă între intensitatea curentului care va parcurge conductorul și tensiunea aplicată la borne există următoarea relație :

$$I = \frac{U}{R} \quad (4.1)$$

Unde R reprezintă rezistență electrică a conductorului respectiv. Relația (4.1) reprezintă **legea lui Ohm** pe o porțiune de circuit electric.

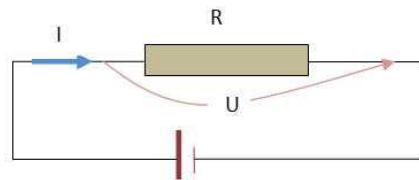


Fig. 4.1 Circuit simplu

În cazul unui conductor metallic de lungime  $l$ , secțiune transversală  $S$ , ținându-se seama că purtătorii de sarcină electrică care determină curentul electric sunt electronii, rezistența electrică se exprimă prin relația:

$$R = \rho \frac{l}{S} = \frac{1}{\sigma} \frac{l}{S} \quad (4.2)$$

$$\text{unde } \sigma = \frac{ne^2\tau}{m^*} = \frac{1}{\rho}, \quad \sigma(\Omega^{-1}m^{-1}) \quad (4.3)$$

*reprezintă conductivitatea electrică iar  $\rho(\Omega m)$  este rezistivitatea .*

- ✓  $n$  reprezintă concentrația de purtători de sarcină electrică care determină conducția, concentrația de electroni în cazul metalelor.
- ✓  $e$  reprezintă sarcina elementara.
- ✓  $\tau$  reprezintă timpul mediu între două ciocniri ale electronului în rețeaua cristalină.
- ✓  $m^*$ , reprezintă masa efectivă a electronului.

Rezistența electrică este o mărime fizică care măsoară practic gradul în care un conductor se opune trecerii curentului electric. Cu cât rezistența electrică este mai mică, cu atât un material este mai bun

conductor. Clasificarea materialelor în conductori, semiconductori și izolatori se face după valorile rezistivității electrice sau ale inversei acesteia, conductivitatea electrică (Fig. 4.2).

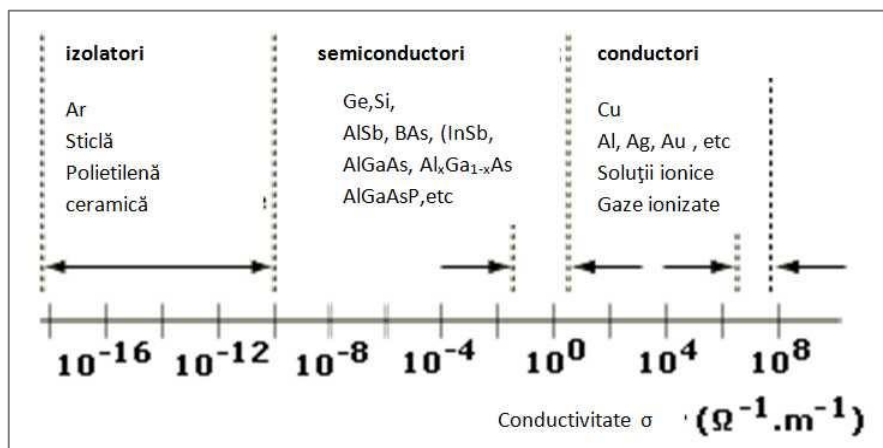


Fig. 4.2 Clasificarea materialelor în funcție de conducția electrică

Așa cum rezultă din ecuația (4.2) rezistența electrică a unei porțiuni de circuit depinde, în afară de proprietățile geometrice (formă și dimensiuni), de structura internă a materialului din care este confecționată prin intermediul rezistivității electrice  $\rho$ , sau, a inversei acesteia, conductivitatea electrică  $\sigma$ .

Dacă rezistența electrică  $R$  a unui element de circuit este constantă indiferent de tensiunea aplicată la bornele lui, elementul respectiv se numește liniar sau ohmic. În Fig. 4.3(a) este prezentată caracteristica curent-tensiune a unui rezistor liniar. În Fig. 4.3(b) este prezentată caracteristica curent-tensiune a unei diode iar Fig. 4.3(c) caracteristica curent-tensiune a unei baterii. Rezistivitatea electrică depinde de temperatură, caracteristicile prezentate referindu-se la o valoare constantă a temperaturii.

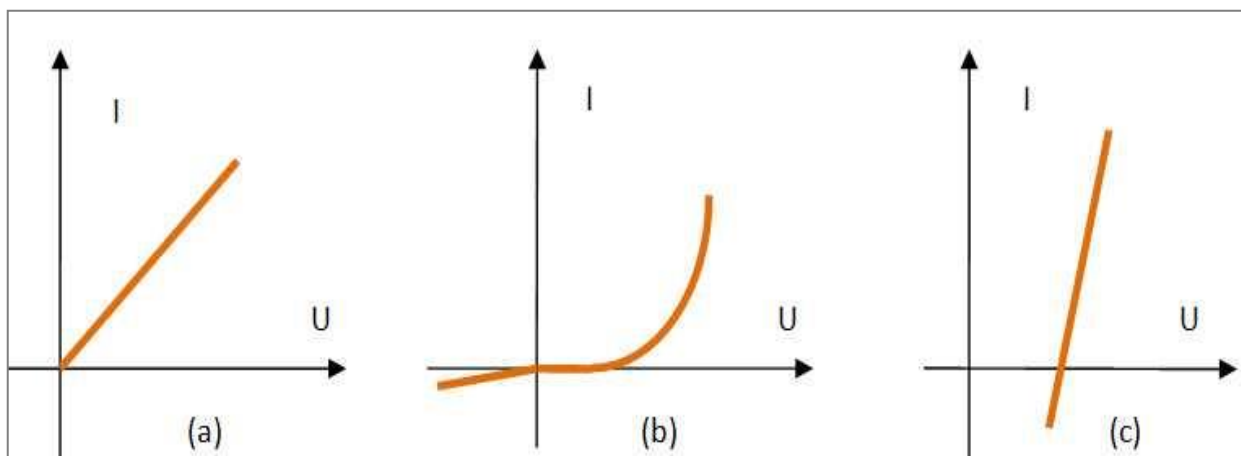


Fig 4.3 Caracteristica curent-tensiune pentru diferite elemente de circuit

### 4.3 Cerințe

#### A. Experimentul 1

#### Verificarea legii lui Ohm și trasarea caracteristicii curent-tensiune pentru rezistori liniari

Pentru realizarea măsurătorilor se va realiza circuitul electric din Fig. 4.4

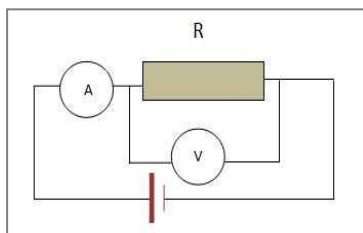


Fig. 4.4 Circuit pentru verificarea legii lui Ohm

Se vor folosi următoarele elemente:

- Generator de tensiune continuă, tensiunea poate varia între 0 și 20 V cc.
- Ampermetru, voltmetru sau multimetre digitale.
- Rezistori, conductori de legătură.



alimentator didactic



ampermetru



multimetru



Conductori de legatură



rezistori

Fig. 4.5 Elemente de circuit pentru verificarea legii lui Ohm

Se montează în circuit conform Fig. 4.4 unul din rezistori. Se variază tensiunea la bornele rezistorului modificându-se tensiunea furnizată de generatorul electric. Alternativ se poate folosi un potențiomtru. Valorile intensității curentului care trece prin rezistor funcție de tensiunea aplicată vor fi consemnate în tabelul 1. Aparatele de măsură se vor considera ideale. Se repetă măsurătorile pentru încă 2 rezistori diferiți. Pentru fiecare rezistor se vor face 10 determinări. Se va completa tabelul cu datele experimentale.

1	2	3	4	5	6
	Nr	U(V)	I(A)	R( $\Omega$ )	$\bar{R}(\Omega)$
R <sub>1</sub>	1				
	....				

Tabelul 4.1 Verificarea legii lui Ohm

Se va trasa pe hârtie milimetrică graficul  $I = f(U)$  pentru fiecare rezistor. Se va trasa dreapta de interpolare a graficului pentru fiecare rezistor și se va calcula panta dreptei. Se va determina rezistența electrică din panta dreptei.

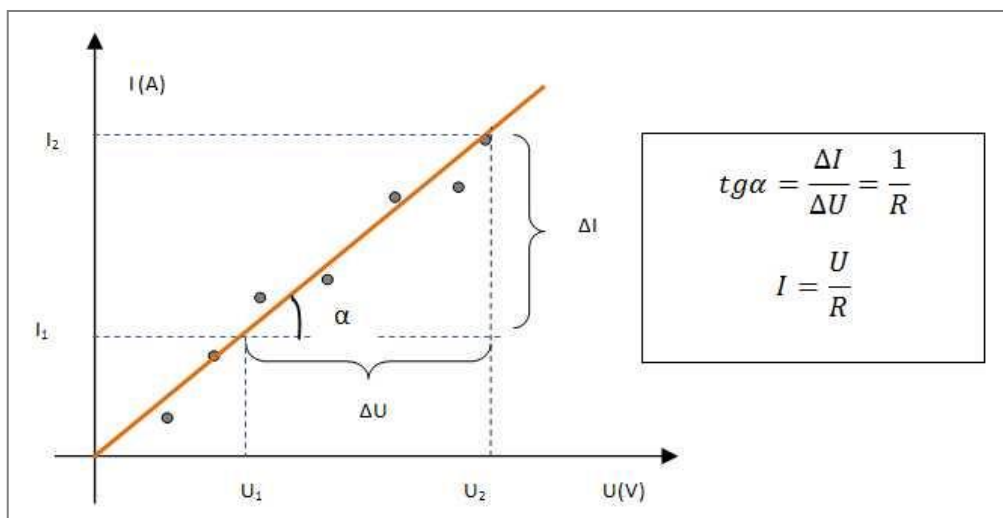


Fig. 4.6 Exemplu de calcul al rezistenței electrice din panta dreptei de interpolare

Se vor măsura direct rezistențele utilizând multimetrul digital ca ohmetru și se va compara cu valorile obținute din pantele dreptelor de interpolare.

## B. Experimentul 2

### Determinarea unor rezistențe necunoscute prin metodele amonte și aval.

Se vor folosi succesiv doi rezistori de valori sensibil diferite. Tensiunea la bornele rezistorilor va fi variată prin modificarea tensiunii furnizate de sursă prin rotirea comutatorului sau folosind un reostat. În principiu pentru determinarea rezistenței electrice folosind un voltmetru și un ampermetru se pot realiza două tipuri de montaje așa cum se vede în Fig. 4.7.

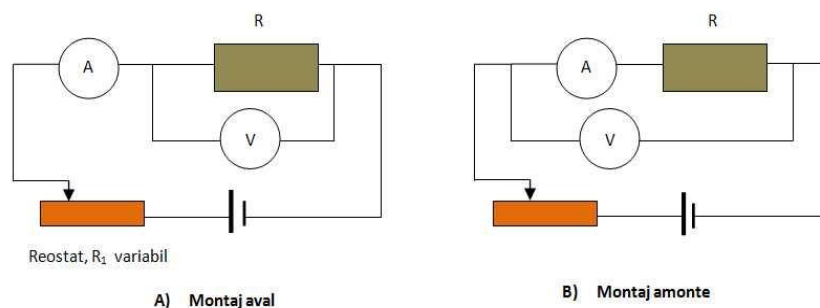


Fig. 4.7 Montaje pentru determinarea rezistențelor electrice

În funcție de poziția ampermetrului și voltmetrului cele două montaje se numesc aval respectiv amonte după cum ampermetrul este înainte sau după voltmetru. Dacă aparatele de măsură ar fi ideale, poziția acestora nu ar fi influențat măsurătorile. Însă în practică aparatele de măsură nu sunt ideale, prin urmare valoarea rezistențelor proprii influențează procesul de măsurare. Ampermetru ideal are rezistență electrică zero, voltmetru ideal are rezistență electrică infinită.

## Montaj aval

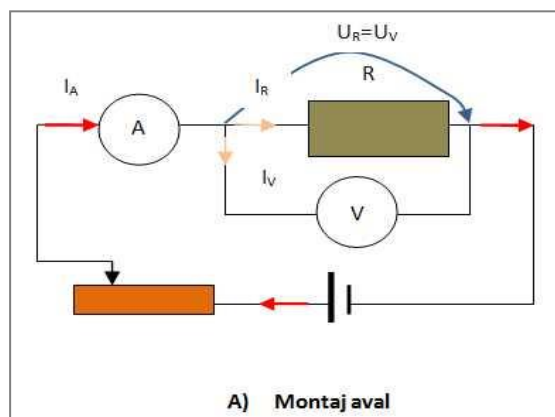


Fig. 4.8 Montaj aval

Voltmetrul va măsura exact tensiunea la bornele rezistorului însă ampermetrul va măsura mai mult decât intensitatea curentului care intră în rezistor și anume,

$$I_A = I_R + I_V \quad (4.4)$$

Dacă notăm cu  $R_V$  rezistența voltmetrului atunci,

$$I_V = \frac{U_R}{R_V} \quad (4.5) \quad \text{și} \quad I_R = \frac{U_R}{R} \quad (4.6)$$

Înlocuind în (4.4) rezultă,

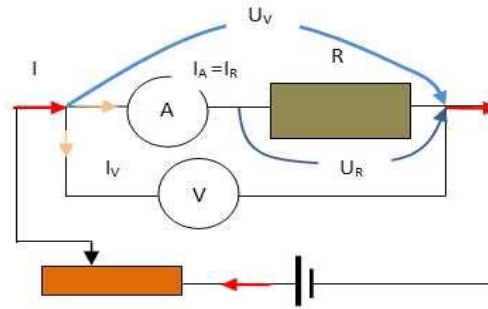
$$I_A = U_R \left( \frac{1}{R_V} + \frac{1}{R} \right) \quad (4.7)$$

$$R_{aval} = \frac{U_R}{(I_A + \frac{U_R}{R_V})} \quad (4.8) \quad \text{valoarea aproximativă fiind } R = \frac{U_R}{I_A} = \frac{U_V}{I_A} \quad (4.9)$$

Dacă voltmetrul are rezistență foarte mare (se apropie de un voltmetru ideal) atunci raportul  $\frac{U_R}{R_V} \rightarrow 0$  și se ajunge la cazul simplu  $R = \frac{U_R}{I_A}$ . Acest tip de măsurare introduce o eroare sistematică determinată de numitorul relației (4.8). Cu cât curentul care trece prin voltmetru este mai mic cu atât ampermetrul măsoară o valoare a curentului mai apropiată de cea care trece prin rezistor, altfel spus curentul care trece prin rezistor trebuie să fie mare comparativ cu cel care se ramifică prin voltmetru. Acest lucru se întâmplă dacă rezistența de măsurat este mică comparativ cu cea a voltmetrului.

**Concluzie:** montajul aval este indicat atunci când avem de măsurat rezistențe mici comparativ cu rezistența internă a voltmetrului, caz în care curentul care trece prin rezistor este apropiat de valoare cu cea ce măsoară ampermetrul.

## Montaj amonte



**B) Montaj amonte**

Fig. 4.9 Montaj amonte

Ampermetrul măsoară exact curentul care trece prin rezistor dar voltmetrul măsoară mai mult decât tensiunea electrică la bornele rezistorului,  $U_R$ , și anume măsoară,

$$U_V = U_A + U_R \quad (4.10)$$

Unde  $U_A$  reprezintă tensiunea la bornele ampermetrului care nu este ideal și care prin urmare are propria rezistență  $R_A$ .

Dacă  $U_A = I_A R_A$  (4.11) și  $U_R = I_A R$  (4.12) atunci,

$$U_V = I_A R_A + I_A R \quad (4.13)$$

$$R_{amonte} = \frac{U_V}{I_A} - R_A \quad (4.14) \quad \text{valoarea aproximativă fiind } R = \frac{U_R}{I_A} = \frac{U_V}{I_A} \quad (4.15)$$

Se observă că montajul amonte introduce o eroare sistematică datorată rezistenței ampermetrului care la modul ideal ar trebui să aibe rezistență zero. Cu cât rezistența ampermetrului este mai mică și deci neglijabilă față de rezistența de măsurat cu atât rezultatul este mai apropiat de valoarea adevărată. Prin urmare acest procedeu este mai exact dacă avem de măsurat rezistențe mari.

**Concluzie:** montajul amonte este indicat atunci când avem de măsurat rezistențe mari. Atunci termenul de corecție  $R_A$  este neglijabil.

Se demonstrează că există o valoare a rezistenței electrice care delimitează domeniul de utilizare al celor două metode și anume aceasta este,

$$R_0 \cong \sqrt{R_A R_V} \quad (4.16)$$

Pentru  $R_{de\ măsurat} < R_0$  se utilizează metoda aval și pentru  $R_{de\ măsurat} \geq R_0$  se utilizează metoda amonte.



## Cerinte

1. Se va identifica din cărțile tehnice rezistențele interne ale ampermetrului respectiv voltmetrului.
2. Se vor monta pe rand în circuit 2 rezistențe din cutia de rezistențe în domeniul 10-10kΩ. Pentru fiecare din ele se va modifica tensiunea la borne. Valorile intensității curentului prin rezistențe funcție de tensiunea aplicată vor fi consemnate în tabelul 1. În calculul valorilor aproximative și a celor corectate se vor folosi relațiile (4.8), (4.9) pentru aval și (4.14), (4.15) pentru amonte.

<b>Aval</b>								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Nr	U(V)	I(A)	R <sub>aprox</sub> (Ω)	$\overline{R_{aprox}}$ (Ω)	R <sub>aval</sub> (Ω)	$\overline{R_{aval}}$ (Ω)	$\frac{\Delta R}{R}$ (%)
R <sub>1</sub>	1							
	2							
	...10							
R <sub>2</sub>	1							
	2							
	..10							
<b>Amonte</b>								
1	2	3	4	5	6	7	8	
	Nr	U(V)	I(A)	R <sub>aprox</sub> (Ω)	$\overline{R_{aprox}}$ (Ω)	R <sub>amonte</sub> (Ω)	$\overline{R_{amonte}}$ (Ω)	
R <sub>1</sub>	1							
	...10							
R <sub>2</sub>	1							
	..10							

Tabelul 4.2 Date experimentale

1. Calculați erorile relative introduse prin metodele aval și amonte de către aparatele de măsură conform exemplului de mai jos (coloana 9 din tabel).

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{R_{aprox} - R_{amonte}}{R_{amonte}} \% \quad \text{și} \quad \frac{\Delta R}{R} = \frac{R_{aprox} - R_{aval}}{R_{aval}} \%$$

2. Măsurăți direct cu ohmetrul rezistențele și comparați cu valorile obținute mai sus.

### C. Probleme suplimentare

1. Aveți la dispoziție un ampermetru care are o rezistență electrică  $R_A = 0,1\Omega$  și un voltmetru cu rezistența internă  $R_V = 100k\Omega$ . Pentru care valori ale rezistențelor de măsurat erorile sunt mai mici dacă folosim montajul amonte și pentru care montajul aval ? Avem o rezistență de aproximativ  $2\Omega$  și una în jur de  $40k\Omega$ . Ce montaj alegem pentru a le măsura pe fiecare cu cât mai mici erori ?
2. Aveți la dispoziție trei rezistori ,  $R_1 = 1k\Omega$  ,  $R_2 = 10k\Omega$  ,  $R_3 = 100\Omega$  . Cum trebuie să le grupați pentru ca obține o rezistență echivalentă maximă ? Dar minimă ?
3. Un student efectuează un experiment de laborator în care are de determinat rezistență electrică a unui rezistor. Măsoară tensiunea electrică la bornele rezistorului și intensitatea curentului care trece prin el găsind următoarele valori :
- 4.

$Nr$	$U(V)$	$I(A)$	$R(\Omega)$	$\bar{R}(\Omega)$	$\sigma_R = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (R_i - \bar{R})^2}{N - 1}}$	$\sigma_{\bar{R}} = \frac{\sigma_R}{\sqrt{N}}$
1	11,2	4,67				
2	13,4	5,46				
3	15,1	6,28				
4	17,7	7,22				
5	19,5	8,41				
6	21,4	9				

Tabelul 4.3

- a) Care este rezistența electrică măsurată de student . Completați tabelul și exprimați rezultatul final în forma :  $R = \bar{R} \pm \sigma_{\bar{R}}$
- b) Reprezentați pe hârtie milimetrică dependența  $I=f(U)$  , trasați dreapta care aproximează cel mai bine punctele experimentale și calculați din panta dreptei valoarea rezistenței . Comparați cu valoarea obținută la punctul a) .
- c) Pe rezistor este inscripționată o valoare de  $2,5\Omega$  . Se înscrie această valoare în ceea ce a determinat studentul ?
- d) Un tehnician care lucrează în laboratorul în care s-au făcut măsurătorile susține că multimetrele cu care studentul a făcut determinările introduc erori sistematice de 2% asupra mărimilor măsurate. Folosiți propagarea erorilor pentru a estima modul în care aceste erori sistematice afectează rezultatul asupra determinării lui  $R$  . Combinați efectele erorilor sistematice și a celor întâmplătoare pentru a formula o concluzie asupra rezultatului final al măsurătorii .

(Problemă adaptată după John R. Taylor , An introduction to error analysis , University Science Book , Sausalito , California, 1997, cap.4, problema 4.26)[7]

## 5. Puterea electrică în circuite de curent continuu

### 5.1 Obiective

- ✓ Investigarea dependenței puterii disipate în funcție de intensitatea curentului și tensiunea aplicată pentru diferite configurații de becuri serie și paralel.

### 5.2 Introducere teoretică

Considerând un circuit electric simplu (Fig. 5.1), conductorii de legătură se consideră ideali, energia transferată de generatorul electric de tensiune electromotoare  $E$  și rezistența internă  $r$  întregului circuit este egală cu lucrul mecanic efectuat de câmpul electric pentru a transporta unitatea de sarcină electrică pe tot circuitul. Unde  $R$  reprezintă rezistența electrică a circuitului exterior.

$$W_{tot} = qE = EIt = I^2(R + r)t = \frac{E^2}{(R+r)}t \quad [J] \quad (5.1)$$

În care s-a înlocuit intensitatea curentului conform legii lui Ohm pe tot circuitul și sarcina electrică conform definiției intensității curentului electric.

$$I = \frac{q}{t} \rightarrow q = It \quad (5.2)$$

$$I = \frac{E}{R+r} \quad (5.3)$$

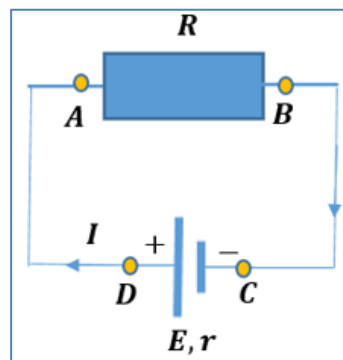


Fig. 5.1 Circuit electric simplu

Energia preluată de consumatorul de rezistență  $R$  (este energia pe care o consumă generatorul pentru a transporta unitatea de sarcină pozitivă prin consumator) va fi :

$$W_R = qU_{AB} = U_{AB}It = I^2Rt = \frac{U_{AB}^2}{R}t \quad [J] \quad (5.4)$$

Unde  $U_{AB}$  este tensiunea electrică la bornele consumatorului.

Prin definiție **puterea** este lucrul mecanic efectuat într-un interval de timp unitar sau energia echivalentă consumată pentru efectuarea lucrului mecanic respectiv în unitatea de timp

$$P = \frac{L}{\Delta t} = \frac{E}{\Delta t} \quad [W] \quad (5.5)$$

Puterea disipată pe consumator va fi prin urmare:

$$P_R = \frac{W_R}{t} = U_{AB}I = I^2R = \frac{U_{AB}^2}{R} \quad (5.6)$$

Iar puterea totală disipată pe circuit însemnând inclusiv pe interiorul generatorului este:

$$P_{tot} = \frac{W_{tot}}{t} = EI = I^2(R + r) = \frac{E^2}{(R+r)} \quad (5.7)$$

### 5.3 Cerințe

Se vor folosi următoarele dispozitive:

- Sursă de tensiune continuă 230V, DC: 0-12V, 0-2A .
- Multimetre digitale DC 0-20V, 0-200mA
- Becuri E10, 4V/0.04A
- Conductorii de legătură, placă suport pentru realizarea circuitelor, întrerupător.

Procedura experimentală

- Se vor realiza circuite serie și paralel formate din două becuri ( vezi Fig 5.2)
- Generatorul electric va fi folosit în regim de tensiune continuă între (0-10)V, însă tensiunea la bornele becurilor nu va depăși 4V iar intensitatea curentului electric prin becuri nu va depăși 0,04A.
- Se vor conecta mai multe multimetre în regim de ampermetre și voltmetre conform schemelor electrice de mai jos.

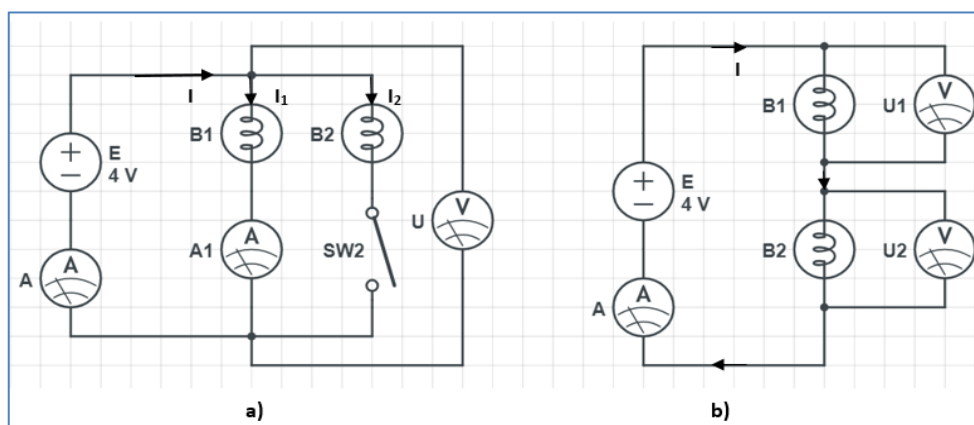


Fig. 5.2 (a) Circuit serie (b) Circuit paralel

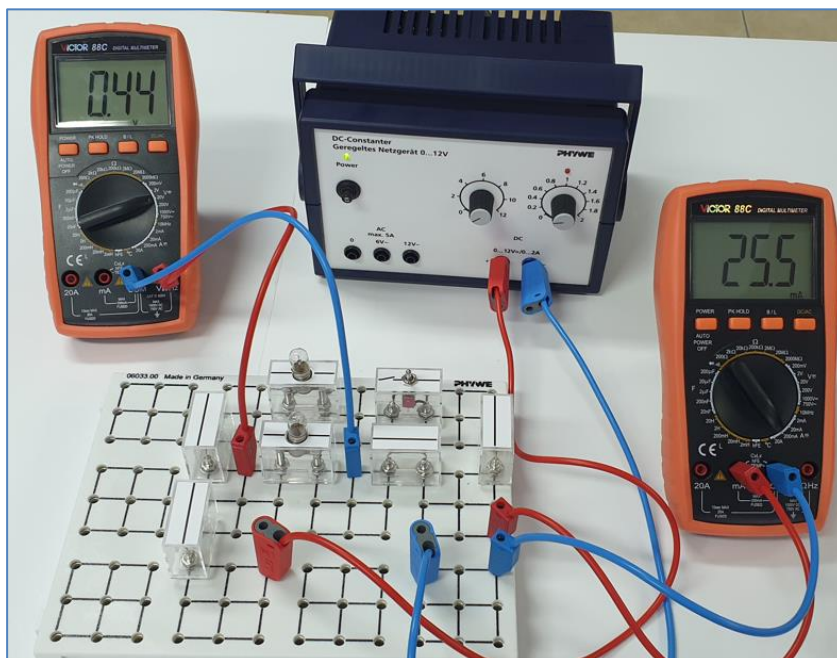


Fig. 5.3 Circuit realizat experimental

Se vor completa tabele de mai jos măsurându-se prin fiecare bec intensitatea curentului și tensiunea la bornele sale. Se va calcula puterea disipată pe fiecare bec și puterea totală disipată utilizând relația:

$$P = UI \quad (5.8)$$

Nr becuri		U(V)	I (mA)	P(W)	P <sub>total</sub> (W)
1	B1				
2 serie	B1				
	B2				
2 paralel	B1				
	B2				

Tabel 5.1 Date experimentale

Se va analiza prin comparație iluminarea becurilor.

#### 5.4 Problemă suplimentară

Puterea electrică disipată pe un rezistor poate fi calculată conform relației:  $P = RI^2$  (W). Pentru a măsura rezistența electrică a unui rezistor un student măsoară simultan intensitatea curentului care trece prin rezistor și puterea disipată de acesta, puterea poate fi măsurată ca urmare a efectului Joule (creșterea temperaturii rezistorului) și găsește valorile din tabelul 5.2.

Nr	I(A)	P(W) (±10)
1	1,5	240
2	2	380
3	2,5	620
4	3	830
5	3,5	1280
6	4	1600

Tabelul 5.2

- Trasați pe hârtie milimetrică graficele  $P=f(I)$  și  $P = f(I^2)$  folosind barele de eroare.
- Determinați valoarea rezistenței rezistorului folosind pentru aceasta ca primă metodă tabelul de date experimentale și ca a doua metodă graficul  $P = f(I^2)$ .

## 6. Condensatorul electric

### 6.1 Obiective

- ✓ Înțelegerea rolului condensatorului electric în circuitele de curent continuu
- ✓ Analiza experimentală a procesului de încărcare și descărcare a condensatorului printr-o rezistență în circuite de curent continuu.
- ✓ Comportarea condensatorului în circuitul de curent alternativ sinusoidal

### 6.2 Introducere teoretică

Orice sistem de doi conductori încărcăți cu sarcină electrică egală dar de sens opus separați printr-un mediu izolator formează un condensator Fig. 6.1(a). Se definește capacitatea electrică ca fiind raportul dintre valoarea sarcinii electrice de pe unul din conductori și diferența de potențial sau tensiunea electrică dintre aceștia.

$$C = \frac{Q}{U} [F] \quad (6.1)$$

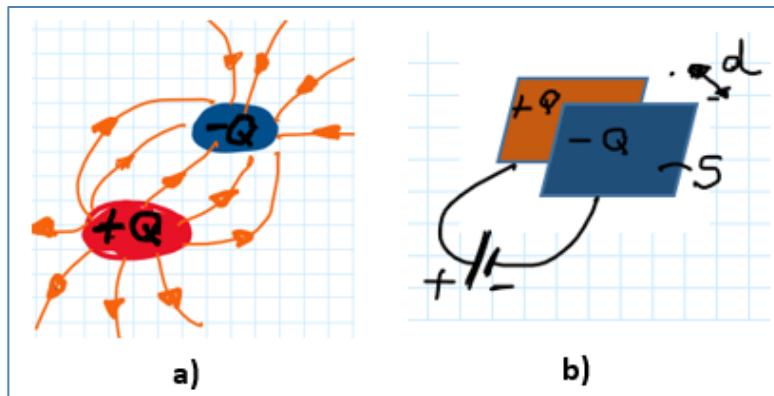


Fig. 6.1 (a) condensator oarecare (b) condensator plan

Atunci când cei doi conductori sunt două plăci plane paralele, numite armături, condensatorul se numește plan. În acest caz capacitatea electrică depinde de suprafața armăturilor, de distanța dintre ele și de mediul izolator dintre ele (prin permitivitatea electrică  $\epsilon$ ) conform relației:

$$C = \epsilon \frac{S}{D} \quad (6.2)$$

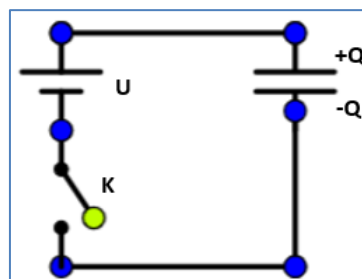


Fig. 6.2 Circuit electric cu condensator

Lucrul mecanic necesar încărcării condensatorului de la sarcina  $q = 0$  la  $q = Q$  este :

$$L = \int_0^Q dw = \int_0^Q v dq = \frac{1}{C} \int_0^Q q dq = \frac{Q^2}{2C} \quad (6.3)$$

Ceea ce este echivalent cu energia potențială stocată într-un condensator încărcat.

$$W = \frac{Q^2}{2C} = \frac{U^2}{2C} = \frac{QU}{2} \quad (6.4)$$

De aici și cele mai importante aplicații ale condensatoarelor și anume stocarea energiei și eliberarea ei pe alte dispozitive în funcție de necesități.

Tipic condensatoarele arată ca în Fig. 6.3 și pot fi: (a) electrolitice și (b) ceramice.

- (a) Condensatoarele electrolitice sunt polarizate ceea ce înseamnă că trebuie legate corespunzător la sursa de tensiune, cu borna „ + ” a condensatorului la borna „+ „ a generatorului și corespunzător borna „ - “.
- (b) Condensatoarele ceramice pot fi conectate oricum.

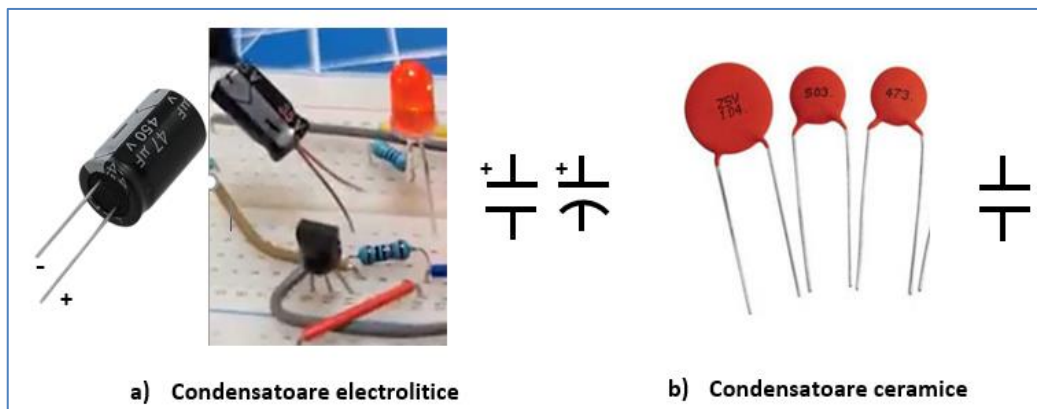


Fig. 6.3 Tipuri de condensatoare

Atunci când legăm condensatorul la bornele unui generator electric de tensiune continuă sau a unei baterii acesta se încarcă aproape instantaneu. Inșă, de obicei, pentru a controla procesul de încărcare se leagă în serie și un rezistor.

**Procesul de încărcare al condensatorului** de la  $q = 0$  la  $q = Q$  printr-o rezistență poate fi descris analitic prin rezolvarea ecuației diferențiale care rezultă din scrierea legii lui Kirchhoff pentru ochiul de rețea din Fig. 6.4

$$\frac{dq}{dt} = \frac{E}{R} - \frac{q}{RC} \quad (6.5)$$

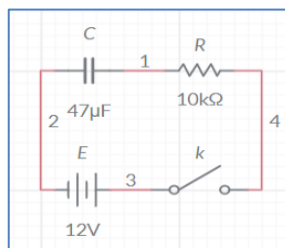


Fig. 6.4 Circuit cu rezistor condensator



Soluția acestei ecuații dă dependența de timp a sarcinii electrice de pe armăturile condensatorului .

$$q(t) = Q(1 - e^{-\frac{t}{RC}}) \quad (6.6)$$

Respectiv dependența de timp a intensității curentului electric prin condensator:

$$i(t) = \frac{E}{R} e^{-\frac{t}{RC}} \quad (6.7)$$

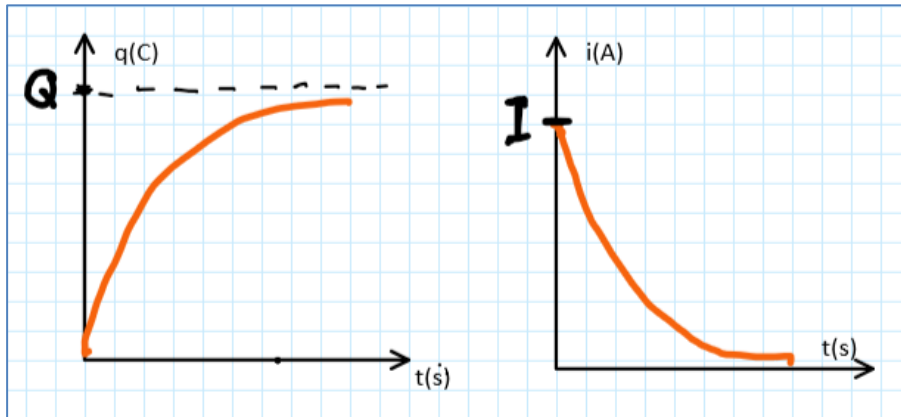


Fig. 6.5 Incărcarea condensatorului printr-o rezistență

Descărcarea condensatorului C pe o rezistență R de la o sarcină electrică  $q = Q$  la  $q = 0$  respectiv de la o tensiune la borne U la 0V se poate analiza rezolvând o ecuație diferențială similară celei (6.5) corespunzătoare circuitului din Fig 6.6 în care comutatorul comutatorul k1 închide C și R, k2 fiind deschis.

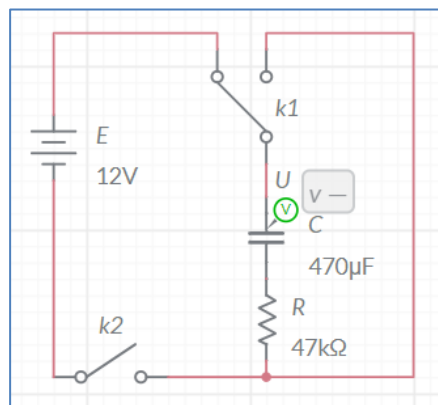


Fig. 6.6 Descărcarea condensatorului pe o rezistență

Soluția este :

$$q(t) = Q e^{-\frac{t}{RC}} \quad (6.8)$$

Respectiv intensitatea curentului:

$$i(t) = -\frac{Q}{RC} e^{-\frac{t}{RC}} \quad (6.9)$$

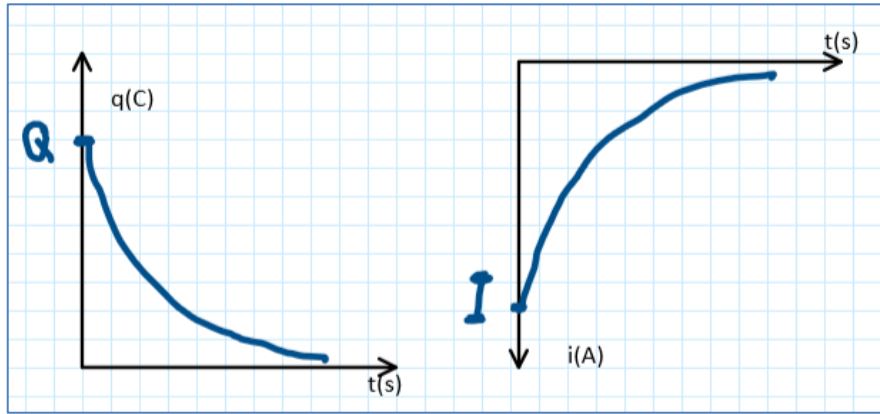


Fig. 6.7 Variația sarcinii electrice și intensității curentului la descărcarea condensatorului

### Condensatorul în circuitele de curent alternativ sinusoidal

În circuitele de curent continuu exceptând intervalul de timp extrem de scurt de încărcare/descărcare, condensatorul se comportă ca o rezistență infinită întrerupând curentul electric. În schimb în circuite de curent alternativ sinusoidal condensatorul nu întrerupe circuitul acționând ca o rezistență electrică de valoare finită numită reactanță capacitivă care depinde de capacitatea electrică și frecvența curentului alternativ sinusoidal conform relației:

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi\nu C} \quad (6.10)$$

În cazul în care în circuit este prezentă și o rezistență electrică în serie cu condensatorul vorbim de o rezistență totală numită impedanță:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} \quad (6.11)$$

### 6.3 Cerințe

Dispozitivul experimental va folosi următoarele componente:

- Sursă de tensiune continuă 230V, DC: 0-12V, 0-2A , 6V~, 12V~.
- Multimetre digitale DC 0-20V, 0-200mA
- Condensatori electrolitici: 47μF, 470μF.
- Rezistori: 10kΩ, 47kΩ.
- Becuri E10, 4V/0.04A, 6V/0.05A.
- Conductori de legătură, placă suport pentru realizarea circuitelor, întrerupător.

## A. Experimentul 1

### Verificarea modului în care condensatorul operează în circuitele de curent continuu.

- Se va realiza circuitul din Fig 6.8.
- Comutator k2 va fi în poziția 1. Se închide k1. Se observă iluminarea becului.
- Se deschide k1, k2 se trece în poziția 2. Se observă iluminarea becului.
- Se înlocuiește condensatorul cu cel de capacitate  $C = 47\mu\text{F}$ . Se vor repeta operațiile de mai sus.
- Se vor formula concluzii legate de faptul că în circuitele de curent continuu se stabilește un curent electric până la momentul încărcării condensatorului după care acesta se comportă ca un întrerupător. În cazul unui condensator încărcat legat în circuit cu un consumator de tip bec acesta luminează până la descărcarea condensatorului. Se va analiza dependența timpului de iluminare al becului funcție de capacitatea electrică a condensatorului.

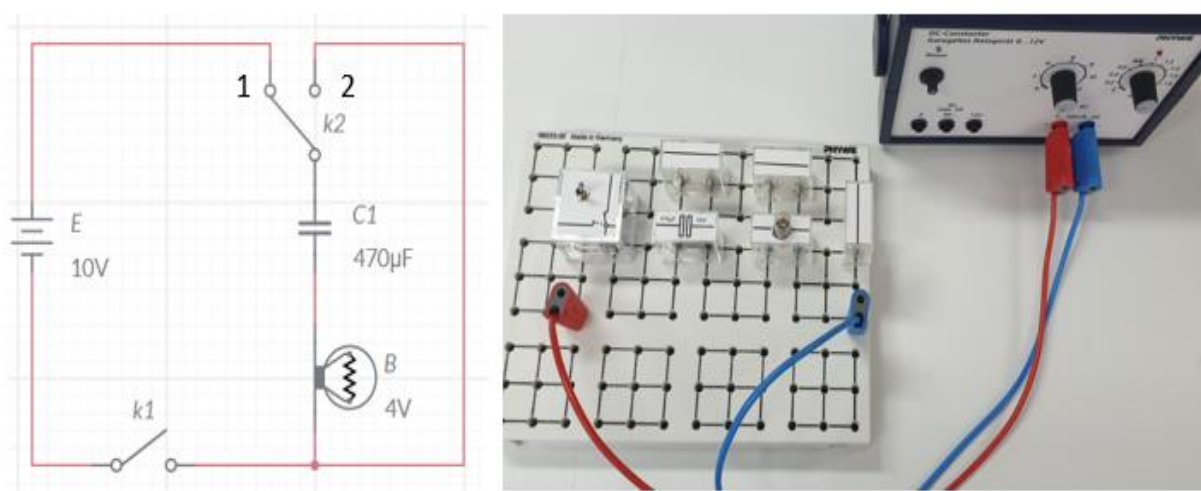


Fig. 6.8 Cum circuit care verifică modul de lucru al condensatorului în curent continuu

## B. Studiul procesului de încărcare și descărcare al unui condensator pe o rezistență

### Experimentul 2

Procesul de încărcare al condensatorului

- Se va realiza practic schema electrică din figura 6.9 utilizând  $C = 470\mu\text{F}$  și  $R = 47\text{k}\Omega$ .
- Se va lega un voltmetru la bornele condensatorului.
- Se închide întrerupătorul k1, întrerupătorul k2 este în poziția 1.
- Se va măsura și trece în tabelul 6.1 valorile tensiunii măsurate la bornele condensatorului de la  $t=0\text{s}$  la intervale egale de timp de 10s (adică din 10 în 10s).

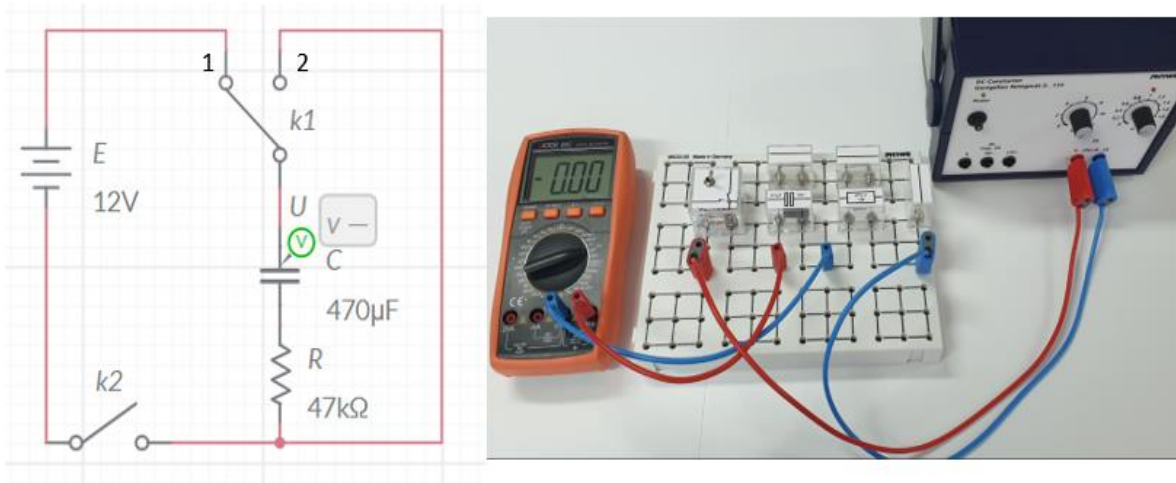


Fig. 6.9 Cum circuit care verifică modul de încărcare al condensatorului în curent continuu

### Procesul de descărcare al condensatorului

- Având condensatorul complet încărcat se va muta comutatorul k2 din poziția 1 în poziția 2.
- Se va măsura și trece în tabel valoarea tensiunii la bornele condensatorului din 10 în 10s.

	t (s)	0	10	20	30	40	50	60
Încărcarea condensatorului	$U_C$ (V)							
Descărcarea condensatorului	$U_C$ (V)							

Tabelul 6.1

Se vor reprezenta grafic atât în procesul de încărcare cât și în cel de descărcare tensiunea la bornele condensatorului funcție de timp  $U_C(t)$ . Se vor discuta aceste grafice și se vor compara cu teoria.

### Experimentul 3

Folosind schema electrică din Fig 6.8 se va măsura pentru diferite valori ale rezistenței electrice și capacității condensatorului timpul necesar pentru a atinge la bornele condensatorului o tensiune  $U_C = 6V$ . Se vor trece datele în tabelul de mai jos.

Nr	R(kΩ)	C(μF)	t(s)
1	10	47	
2	10	470	
3	47	47	
4	47	470	

Tabelul 6.2

Se vor analiza rezultatele experimentului și se vor formula concluzii legate de timpul necesar încărcării condensatorului funcție de R și C. Se va compara cu teoria.

### C. Experimentul 4

#### Funcționarea condensatorului în curent alternativ sinusoidal

- Se va realiza circuitul din figura de mai jos. Generatorul va fi setat la 6V~ iar ampermetrul pe scala de 200mA ~.
- Pentru  $C = 47\mu\text{F}$  se închide întrerupătorul k1, se măsoară intensitatea curentului și se apreciază iluminarea becului
- Se înlocuiește condensatorul cu cel de  $C = 470\mu\text{F}$  și se repetă măsurătorile anterioare.

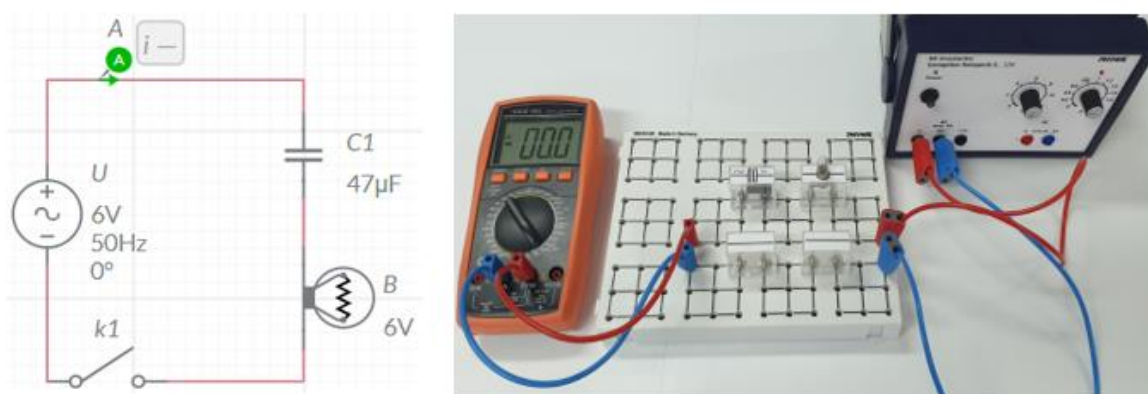


Fig. 6.10 Condensatorul în curent alternativ

Nr	Condensator	I (mA)	Iluminarea becului
1	$47\mu\text{F}$		
2	$470\mu\text{F}$		
3	Fără condensator		

Tabelul 6.3

#### Probleme de discutat:

- Analizând observațiile experimentale ce putem spune despre comportarea rezistorului în circuitele de curent alternativ sinusoidal? Ce concluzie putem trage privind rezistența electrică a condensatorului?
- Dacă în cazul unuia din experimentele de mai sus se închide și deschide rapid întrerupătorul ce observăm legat de intensitatea curentului măsurat de ampermetru? Ce se observă dacă se mărește frecvența? Putem formula o concluzie privind dependența rezistenței electrice a condensatorului de frecvența închiderii și deschiderii întrerupătorului?



## 7. Dioda semiconductoare

### 7.1 Obiective

- ✓ Analiza experimentală a comportării diodei la polarizare directă și inversă în curent continuu.
- ✓ Analiza experimentală a comportării diodei în curent alternativ sinusoidal.
- ✓ Trasarea caracteristicii curent-tensiune a diodei semiconductoare.
- ✓ Determinarea tensiunii de deschidere a diodei la polarizarea directă
- ✓ Studiul diodei Zener

### 7.2 Introducere teoretică

Dioda este un dispozitiv electronic constând dintr-o joncțiune p-n polarizată. Joncțiunea pn este formată din două cristale semiconductoare unul de tip p unul de tip n alăturate. Rezultă un element de circuit de tip dipol unidirecțional, adică care permite trecerea curentului electric într-un singur sens. Conducția electrică în semiconductori este dată de două tipuri de purtători de sarcină electrică: electronii (-) și golurile (+).

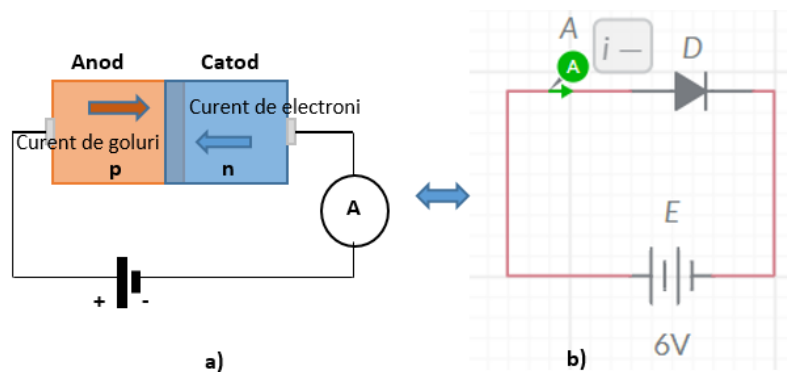


Fig. 7.1 Dioda semiconductoare

Dacă dioda este legată cu anodul la borna pozitivă a sursei de tensiune atunci permite trecerea curentului electric. Acesta se datorează purtătorilor de sarcină majoritari, respectiv a electronilor care trec din n în p și a golurilor care trec invers. Dacă este polarizată invers permite trecerea doar a unui curent foarte mic care se numește curent invers de saturație  $I_s$  și care se datorează trecerii purtătorilor de sarcină minoritari dintr-o zonă în alta. Caracteristica curent-tensiune a diodei semiconductoare este ilustrată mai jos.

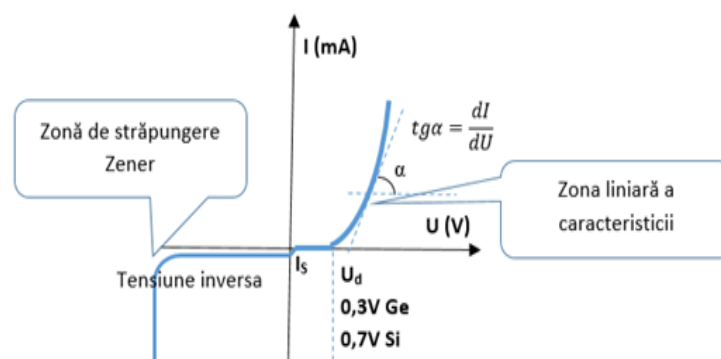


Fig. 7.2 Caracteristica curent-tensiune a diodei semiconductoare

Ceea ce se poate observa este că această caracteristică este neliniară. La polarizarea directă dioda conduce doar dacă tensiunea aplicată este mai mare decât o valoare minimă numită tensiune de deschidere  $U_d$ . Aceasta se datorează necesității de a învinge câmpul electric al stratului de baraj care apare ca urmare a diferenței de concentrație a purtătorilor de sarcină electrică în cele două zone semiconductoare de conducție diferite.

Intensitatea curentului electric prin diodă la polarizare directă se exprimă prin relația:

$$I = I_S \left( e^{\frac{eU_d}{k_B T}} - 1 \right) \quad (7.1)$$

Unde  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  C este sarcina electrică a electronului, iar  $k_B = 1,38 \cdot 10^{-23}$  J/K este constanta lui Boltzmann.

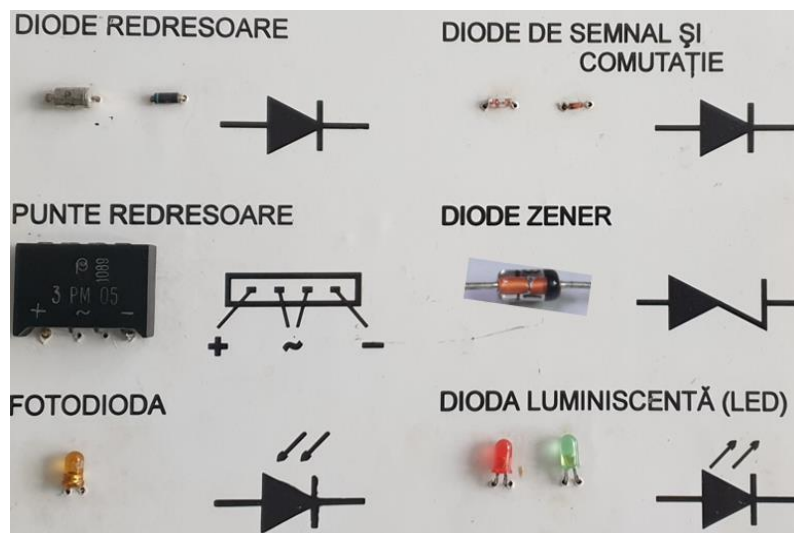


Fig. 7.3 Exemple de diode și simboluri

### 7.3 Cerințe

Dispozitivul experimental va folosi următoarele componente:

- Sursă de tensiune continuă 230V, DC: 0-12V, 0-2A , 6V~, 12V~.
- Multimetre digitale DC 0-20V, 0-200mA
- Condensatori electrolitici: 47μF, 470μF.
- Rezistori: 100 Ω.
- Potențiomtru 250 Ω.
- Diodă de siliciu 1N4007.
- Dioda Zener ZF4.7
- Bec 12 V/0.1 A, E10.
- Conductori de legătură, placă suport pentru realizarea circuitelor, întrerupător.



## A. Experimentul 1

### Cum funcționează dioda în circuitele de curent continuu

- Se va realiza circuitul electric din figura de mai jos polarizând direct dioda. Tensiunea aplicată va fi 12V cc. Se va insera un ampermetru pentru a măsura intensitatea curentului electric prin diodă. Se va nota valoarea măsurată.
- Se vor inversa bornele diodei.
- Pentru fiecare situație de mai sus se analizează comportarea becului remarcând că la polarizare inversă becul nu se aprinde.

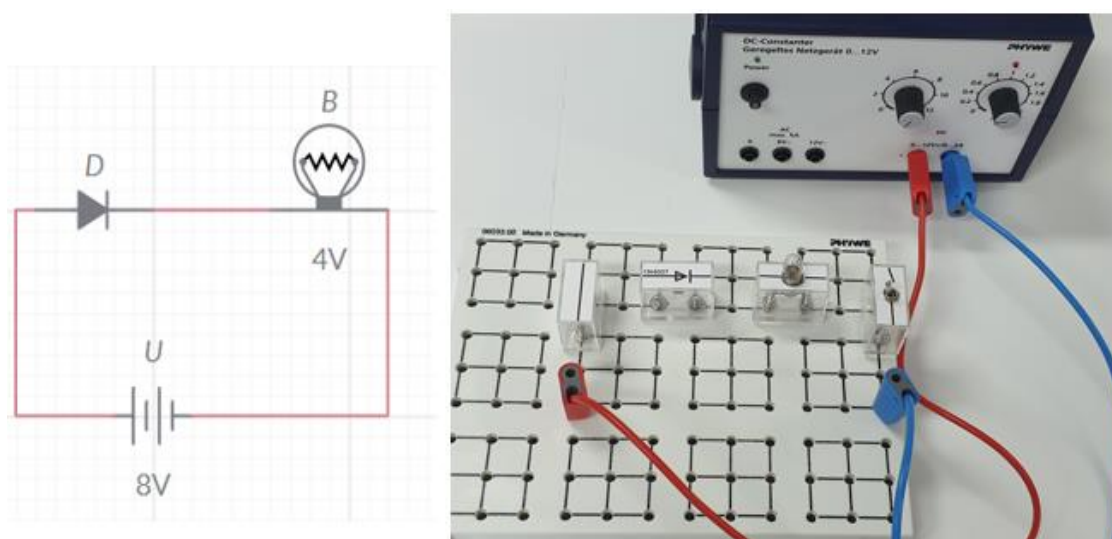


Fig. 7.4 Dioda în circuite de curent continuu

## B. Experimentul 2

### Funcționarea diodei în curent alternativ sinusoidal

- Se va realiza circuitul din Fig 7.5 folosind generatorul electric la 12V~. Domeniul de măsură al ampermetrului va fi pe scala de 200mA. Se va observa iluminarea becului și se va măsura intensitatea curentului prin diodă.
- Se inversează polii diodei. Se repetă măsurătorile și observațiile de mai sus.
- Se vor analiza măsurătorile și se va face comparație cu cele din cazul circuitului de curent continuu de la punctul A.

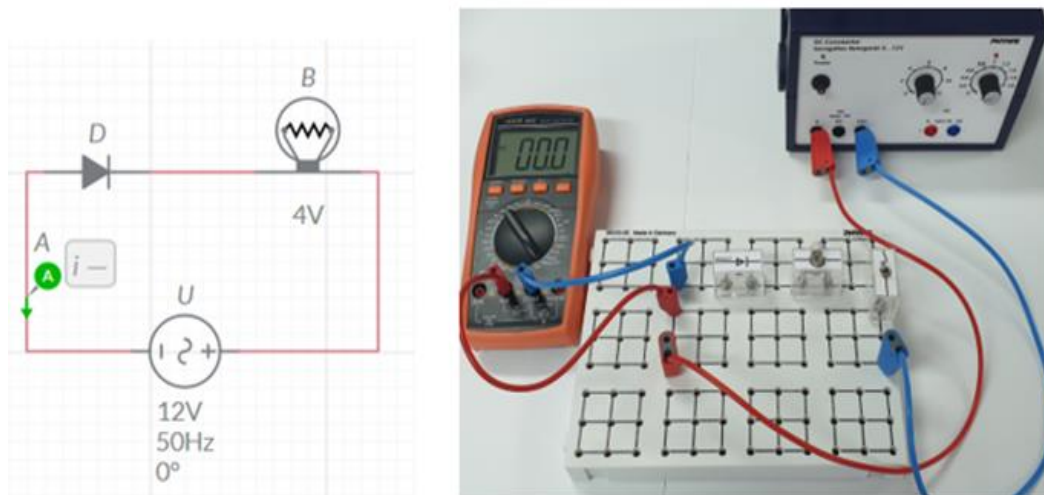


Fig. 7.5 Dioda in circuite de curent alternativ sinusoidal

### C. Experimentul 3

#### Trasarea caracteristicii curent-tensiune a diodei semiconductoare.

- Se va realiza circuitul din figura de mai jos.
- Generatorul electric va fi setat la 12Vcc, voltmetrul pe scala de 2V, ampermetrul pe scala de 20mA.
- Modificând poziția cursorului potențiometrului se va incrementa valoarea tensiunii directe aplicate diodei conform tabelului 7.1.
- Se va inversa bornele tensiunii de alimentare a diodei astfel încât să fie polarizată invers și se va determina valoarea corespunzătoare a intensității curentului.

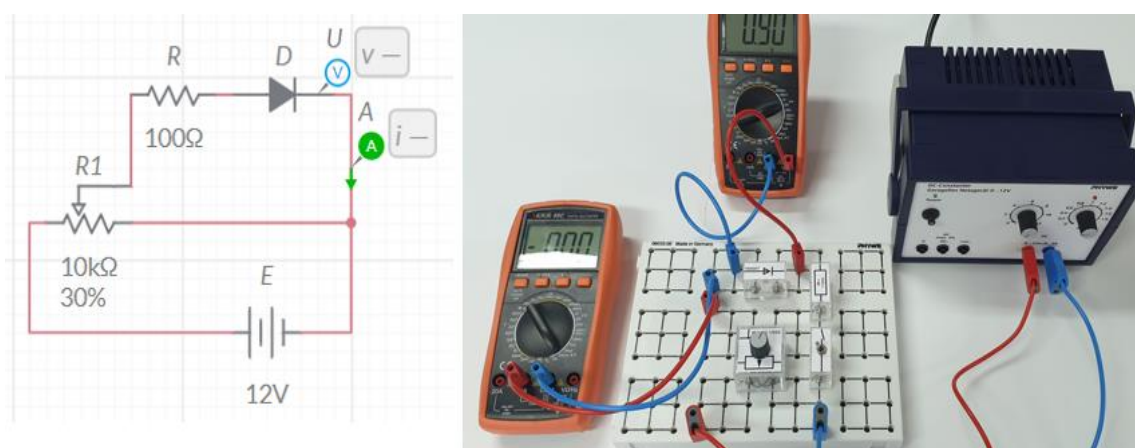


Fig. 7.6 Circuit pentru trasarea caracteristicii curent-tensiune la diodă

Nr	U (V)	I (mA)
1	0	
2	0,2	
3	0,4	
4	0,6	
5	0,65	
6	0,7	
7	0,75	
8	0,77	
9	-1,0	
10	-2,0	

Tabelul 7.1 Date experimentale

- Se va trasa graficul I(U).
- Se va determina tensiunea de deschidere a diodei  $U_d$ , intersectând porțiunea liniară a graficului de la curenți mari cu axa tensiunii.

#### D. Experimentul 4 Dioda Zener

Dioda Zener este o variantă a diodei semiconductoare care este proiectată pentru a funcționa la tensiune de polarizare inversă. După ce valoarea tensiunii inverse aplicate atinge o anumită valoare de prag aceasta nu mai crește rezultând însă o creștere substanțială a intensității curentului electric invers prin diodă. Acest comportament face posibilă utilizarea diodelor Zener în scheme electrice ca stabilizatoare de tensiune.

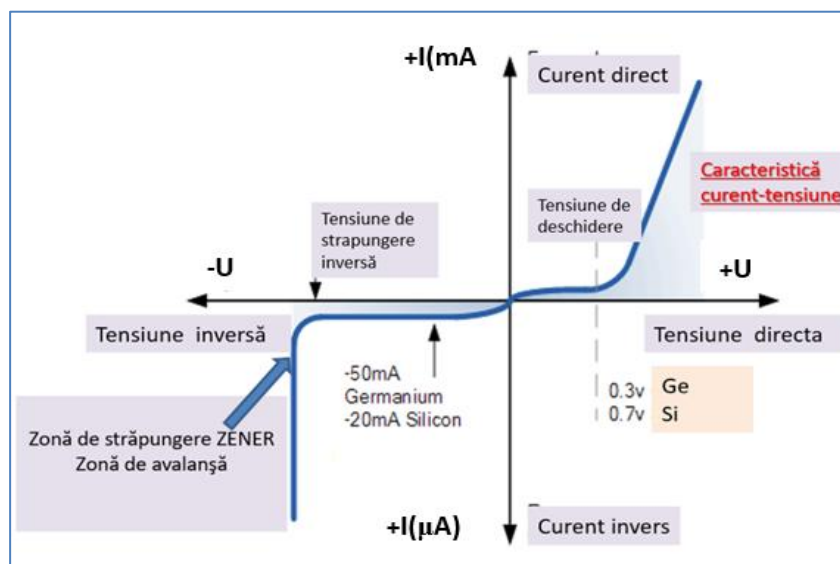


Fig. 7.7 Caracteristica curent-tensiune la dioda Zener

Experimentul de față urmărește trasarea caracteristicii curent tensiune la o diodă Zener polarizată direct și invers. Se va utiliza dioda Zener ZF4.7 în circuitele de polarizare directă și inversă reprezentate schematic mai jos.

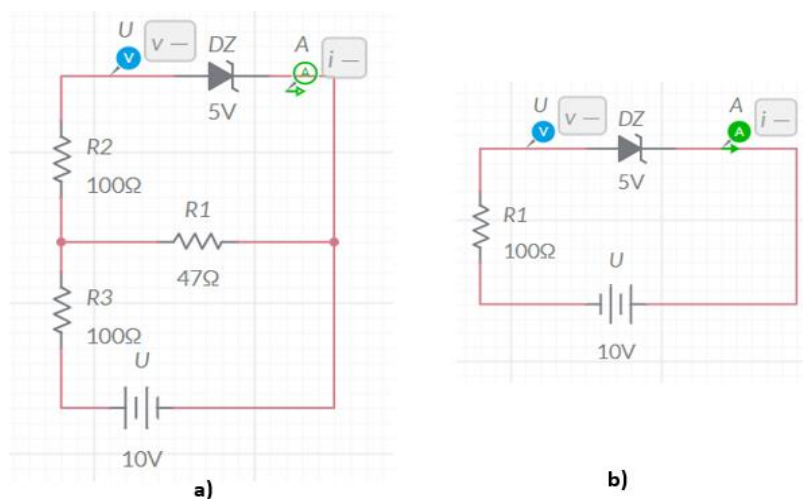


Fig. 7.8 Circuite de (a) polarizare directă și (b) inversă la dioda Zener

- Se va completa următorul tabel cu date experimentale.

U sursă (V)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U diodă (V)										
direct										
I (mA)										
U diodă (V)	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10
invers										
I (mA)										

Tabel 7.2 Date experimentale

- Se va trasa grafic caracteristica curent-tensiune  $I(U)$  și se va determina tensiunea de străpungere Zener.

## 8. Termistorul

### 8.1 Obiective

- ✓ Studiul dependenței de temperatură a rezistenței materialelor semiconductoare.
- ✓ Determinarea lărgimii benzii interzise,  $\Delta E$ , la un semiconductor intrinsec.

### 8.2 Introducere teoretică

**Termistorul** este un dispozitiv semiconductor care folosește proprietatea semiconductorilor intrinseci de a avea o rezistență electrică care variază puternic cu temperatură. Cuvântul termistor provine de la cuvintele în limba engleză "*thermally sensitive resistor*". Caracteristica curent-tensiune a unui termistor este una neliniară. Mai mult, spre deosebire de cazul rezistoarelor obișnuite a căror dependență liniară de temperatură este lină, în cazul termistorilor, la variația temperaturii cu un grad, valoarea rezistenței lor se modifică cu ordinul zecilor de procente. Cu alte cuvinte, este posibil ca într-un interval îngust de temperatură termistorul să-și înjumătățească sau să-și dubleze valoarea rezistenței.



Fig. 8.1 Termistori

Modul în care variază rezistența depinde de tipul termistorului. Acesta poate avea:

- coeficientul de temperatură negativ, se mai numește și NTC, rezistența acestor termistori scade cu creșterea temperaturii.
- coeficientul de temperatură pozitiv, se mai numește și PTC, rezistența acestor termistori crește cu creșterea temperaturii.

Simbolurile termistorilor sunt prezentate în desenele de mai jos .

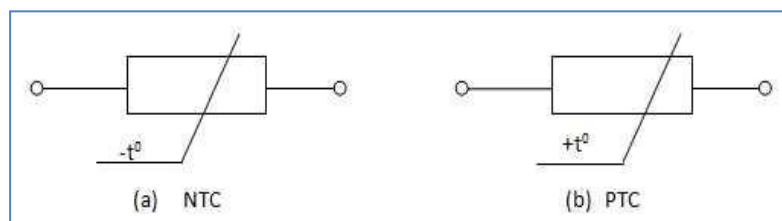


Fig. 8.2 Simbolul termistorilor

În Fig. 8.3 prezentăm comparativ pentru cazul termistorului NTC și a rezistorului ohmic caracteristica termică (rezistență-temperatură ) respectiv curent-tensiune.

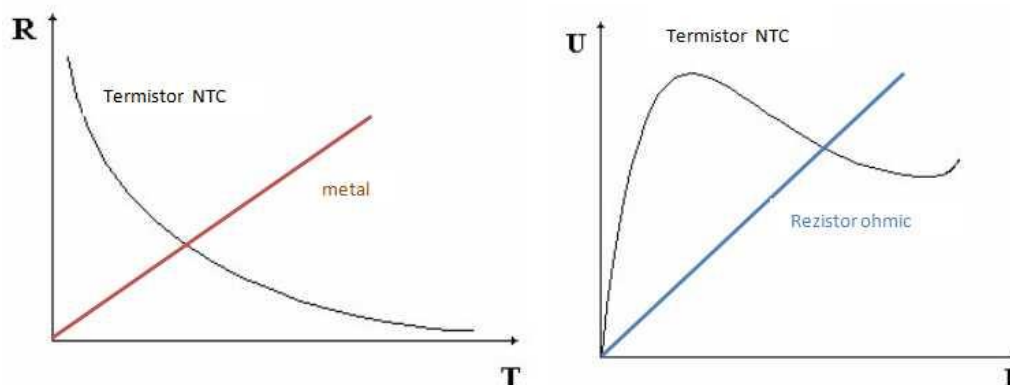


Fig. 8.3 Comparație între caracteristicile unui rezistor ohmic și a unui termistor

### Benzile de energie în solide

Spre deosebire de atomul izolat, în cazul sistemelor formate din mulți atomi, cum este cazul solidelor cristaline, avem de a face cu o *structură de benzi* a nivelelor de energie. Această structură de benzi se datorează apropierii nivelelor energetice ale atomilor individuali care formează solidul. Noua configurație este explicată riguros în cadrul teoriei mecanicii cuantice .

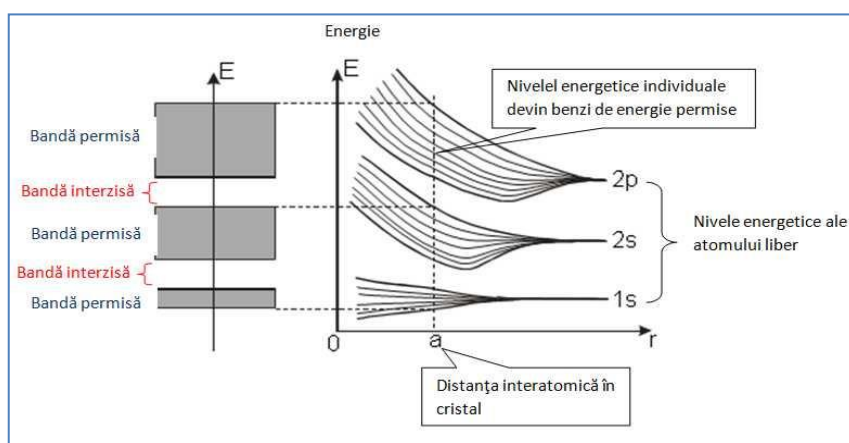


Fig. 8.4 Benzile de energie în solide

În mecanica cuantică se demonstrează că energiile pe care le poate avea un electron în cristal sunt grupate (Fig.8.4) în zone permise separate între ele de zone interzise (cuprind valori ale energiilor pe care electronii nu pe pot lua). Fiecare zonă permisă înseamnă un număr de nivele apropiate între ele, număr egal cu numărul atomilor din volumul respectiv.

Probabilitatea ca un electron în cristal să ocupe o stare de o anumită energie E este dată de funcția de distribuție Fermi-Dirac:

$$f(E) = \frac{1}{e^{\frac{E-E_F}{k_B T}} + 1} \quad (8.1)$$

Unde  $k_B = 1,38 \cdot 10^{-23}$  J/K reprezintă constanta lui Boltzmann ,  $T$  reprezintă temperatura absolută iar  $E_F$  energia nivelului Fermi. Nivelul Fermi reprezintă energia nivelului pentru care probabilitatea de ocupare este exact de 50%.

$$f(E_F) = \frac{1}{e^{\frac{E_F - E_F}{k_B T}} + 1} = \frac{1}{2} = 50\% \quad (8.2)$$

Dacă temperatura absolută tinde la zero,  $T \rightarrow 0$  , atunci,

$$\lim_{T \rightarrow 0} f(E) = \begin{cases} 1 & \text{dacă } E < E_F \\ 0 & \text{dacă } E > E_F \end{cases} \quad (8.3)$$

Se vede că toate stările cu  $E < E_F$  sunt ocupate cu electroni iar cele cu  $E > E_F$  sunt libere. Prin urmare energia nivelului Fermi reprezintă energia maximă pe care o au electronii la 0K, nivelul Fermi separă nivelele energetice ocupate de electroni de cele libere. Odată cu creșterea temperaturii electronii vor trece pe stări energetice superioare nivelului Fermi.

În teoria corpului solid există trei zone energetice, numite și benzi de energie, care au importanță deosebită și anume:

- ✓ *Banda de valență*, este ultima bandă energetică care poate fi complet sau parțial ocupată cu electronii legați de atom.
- ✓ *Banda de conducție*, este banda de energie permisă superioară benzii de valență, corespunde intervalului energetic al electronilor care au energii mai mari decât cele corespunzătoare benzii de valență și care devin electroni liberi participând la conducția electrică.
- ✓ Banda interzisă, este un interval energetic care nu poate fi ocupat de electroni, este foarte importantă în cazul în care separă banda de valență de banda de conducție pentru că determină proprietățile conducției electrice.

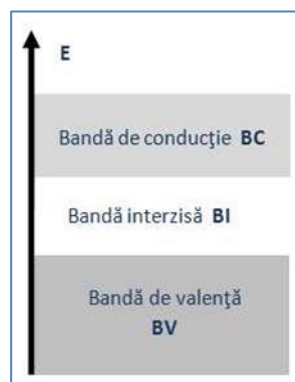


Fig. 8.5 Benzile de energie în solide

Modul de ocupare al acestor benzi de energie la o temperatură de 0K determină clasificarea corpurilor solide în trei categorii (Fig.8.5):

- a) **Conductori**, au banda de valență parțial ocupată, nivelul Fermi limitând nivelele ocupate de cele libere, banda de conducție se poate suprapune parțial sau total peste bande de valență.
- b) **Izolatori**, au banda de valență complet ocupată, banda de conducție este liberă, cele două zone fiind separate de o bandă interzisă largă. Nivelul Fermi este în interiorul benzii interzise.
- c) **Semiconductori**, au aceeași structură energetică cu izolatorii, numai că lărgimea benzii interzise este cu mult mai mică.

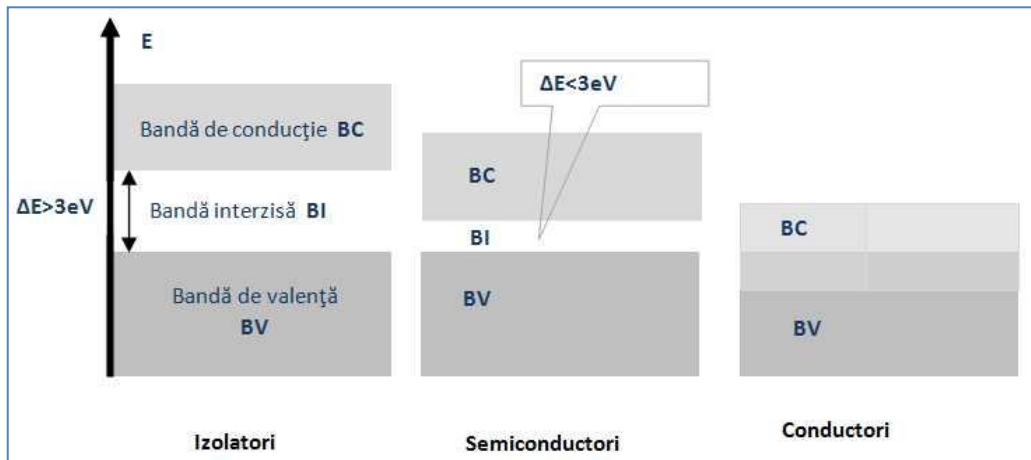


Fig. 8.6 Modelul conductorilor, semiconductorilor și izolatorilor

Semiconductorii pot fi alcătuiți dintr-un singur element chimic (elemente din grupa a IV-a a sistemului periodic precum Si, Ge, etc) sau combinații de elemente chimice (grupa a IV-a + a III-a, grupa a IV-a + a V-a sau alte combinații mai complexe). Prima categorie de semiconductori se numesc *semiconductori intrinseci* (fără impurități) iar cea de a *doua semiconductori extrinseci* (cu impurități).

Ne vom referi în continuare la categoria semiconductorilor intrinseci datorită faptului că termistorii sunt semiconductori de acest tip.

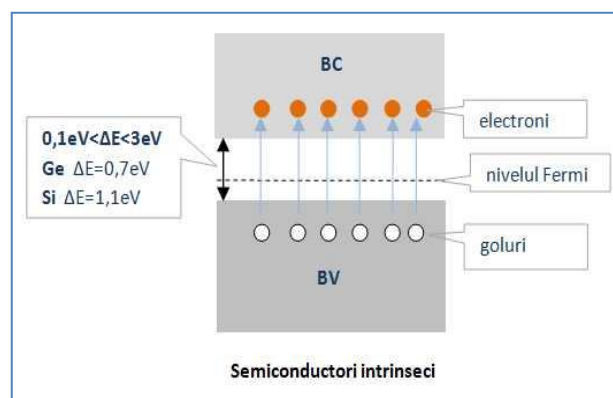


Fig. 8.7 Semiconductori intrinseci

În cazul semiconductorilor intrinseci conducția electrică este asigurată pe de o parte din electroni, care la temperatura camerei trec din banda de valență în banda de conducție, lărgimea benzii interzise fiind mică, și pe de altă parte de golurile rămase în banda de valență. Golurile se comportă ca niște particule fictive cu sarcină electrică pozitivă. Concentrațiile de electroni și goluri sunt egale:  $n = p = n_i$ . Concentrația electronilor egală cu a golurilor poartă numele de concentrație intrinsecă și este notată cu



$n_i$ . La aplicarea unui câmp electric extern vom avea un curent electric determinat de electroni, care se vor mișca în sens invers câmpului și de goluri, care se vor deplasa în același sens cu câmpul aplicat

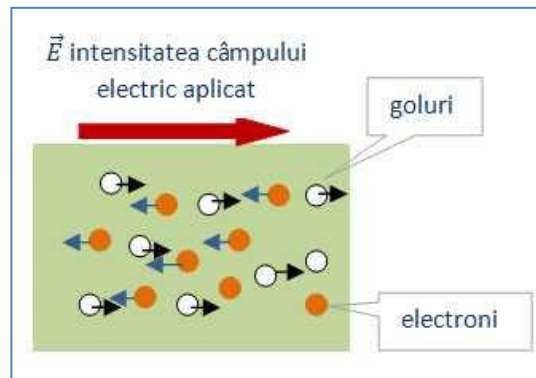


Fig. 8.8 Curentul electric în semiconductorii intrinseci

Prin urmare în cazul semiconductorilor intrinseci, spre deosebire de metale, conducția electrică este asigurată de două tipuri de purtători de sarcină electrică de concentrații egale, electronii și golurile. Concentrația intrinsecă la un semiconductor poate fi calculată dacă se cunoaște distribuția electronilor de conducție funcție de energie.

Pentru a determina lărgimea energetică a benzii interzise folosim faptul că rezistivitatea semiconductorului intrinsec scade cu creșterea temperaturii după relația :

$$\rho = \rho_0 e^{\frac{\Delta E}{2k_B T}} \quad (8.4)$$

ceea ce conduce la relația care exprima variația rezistenței cu temperatura (caracteristica termică a semiconductorului):

$$R = R_0 e^{\frac{\Delta E}{2k_B T}} \quad (8.5)$$

unde  $k_B = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$  iar  $\Delta E$  este lărgimea benzii interzise a semiconductorului.

În cazul unui conductor metalic (Cu, Al, etc), rezistența crește cu temperatura:

$$R = R_0(1 + \alpha \Delta t) \quad (8.6)$$

unde  $\alpha$  este un coeficient de variație a rezistenței cu temperatura.

Dacă se logaritmează relația (5) atunci obținem,

$$\ln R = \ln \left( R_0 e^{\frac{\Delta E}{2k_B T}} \right) = \ln R_0 + \frac{\Delta E}{2k_B T} \quad (8.7)$$

Dacă notăm  $\ln R_0 = A$  și  $\frac{\Delta E}{2k_B} = B$  atunci relația (8.7) devine,

$$\ln R = A + B \frac{1}{T} \quad (8.8)$$

Reprezentând grafic relația (8.8) obținem un grafic de tipul celui din Fig. 8.9 din a cărui pantă se poate evalua lărgimea benzii interzise pentru cazul semiconductorului din care este confecționat termistorul.

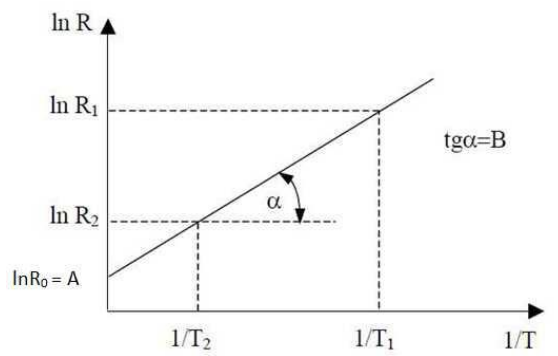


Fig. 8.9 Reprezentarea în scară logaritmică a dependenței rezistenței unui semiconductor intrinsec de temperatură

### 8.3 Cerințe

#### Dispozitivul experimental

Pentru determinarea lărgimii benzii interzise a semiconductorului intrinsec se studiază variația rezistenței cu temperatura  $R=f(T)$  a unui termistor NTC care este format dintr-un asemenea semiconductor. Dispozitivul experimental este alcătuit din:

- Calorimetru
- Termometru
- Termistor
- Ohmetru

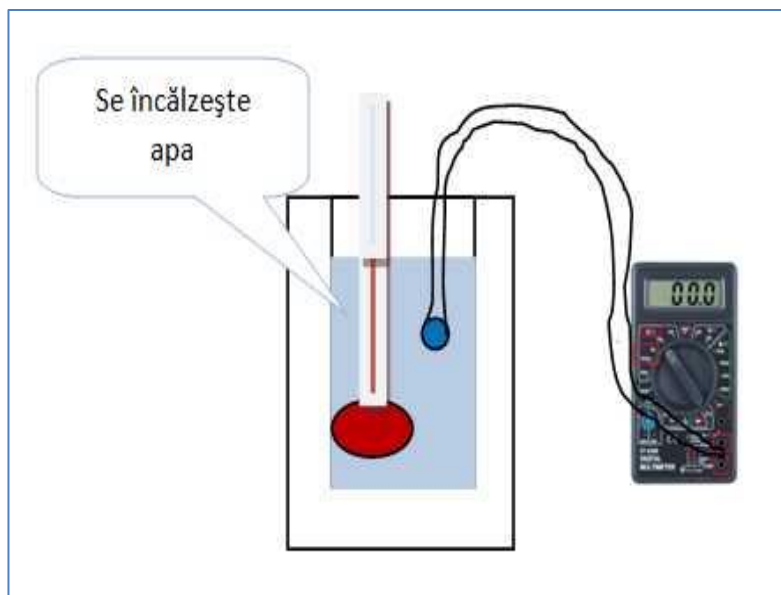


Fig. 8.10 Dispozitiv experimental

### Modul de lucru

În interiorul calorimetrului se pune apă. Apa se va încălzi până la o anumită temperatură, care se lasă să se stabilizeze. Se introduce în apă termistorul și se așteaptă să se stabilească echilibrul termic. Temperatura, pe măsură ce scade, este măsurată cu un termometru, iar simultan rezistența electrică a termistorului este măsurată cu un ohmetrul. Se recomandă ca citirea temperaturii să se facă din 5 în 5 diviziuni.

- A. Se vor măsura simultan temperatura termistorului și rezistența sa electrică. Datele se trec în tabelul următor.

1	2	3	4	5	6
<i>Nr.</i>	$t(^{\circ}C)$	$T(K)$	$R(\Omega)$	$\frac{1}{T}(K^{-1})$	$\ln R$
1					
2					
3					
...10					

Tabelul 8.1 Date experimentale

- B. Se va trasa pe hârtie milimetrică graficele  $R(T)$  și  $\ln(R)=f(1/T)$ .
- C. Se va desena dreapta care aproximează cel mai bine punctele experimentale ale graficului  $\ln(R)=f(1/T)$  și se va determina panta dreptei  $\operatorname{tg}\alpha = B$  (vezi figura 8.6).
- D. Să se calculeze lărgimea benzii interzise  $\Delta E$  din panta dreptei.

$$B = \frac{\Delta E}{2k_B} \text{ unde } k_B = 8,6 \cdot 10^{-5} \text{ eV/K}$$

- E. Se vor preciza sursele de erori ale experimentului și se va efectua calculul acestora.

## 9. Câmpul magnetic

### 9.1 Obiective

- ✓ Evidențierea câmpului magnetic produs de curentul electric care trece prin diferite tipuri de bobine utilizând senzor de câmp magnetic.
- ✓ Studiul dependenței inducției câmpului magnetic în interiorul bobinelor de numărul spirelor, diametrul bobinei precum și de distanța față de centrul bobinei.
- ✓ Studiul superpoziției câmpurilor magnetice.
- ✓ Studiul dependenței inducției câmpului magnetic de intensitatea curentului electric prin bobină
- ✓ Determinarea permeabilității magnetice ca unei bare de Fe.

### 9.2 Introducere teoretică

Cuvântul magnet provine de la numele unei provincii din Grecia numită Magnesia. Din antichitate locuitorii zonei au constatat că rocile din regiune atrag obiecte din fier. Motivul e legat de conținutul mare de oxid de fier  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (magnetita) al acestora. Magnetita este un cristal feromagnetic natural. Din categoria feromagneților naturali mai fac parte în afara materialelor care conțin mult Fe și cele care conțin Co, Ni și Cr. Proprietățile deosebite ale feromagneților sunt determinate de momentele magnetice ale atomilor asociate spinului care sunt aliniate formând în interiorul rocilor respective domenii magnetice, rezultând astfel un moment magnetic macroscopic semnificativ. O să numim feromagneții naturali simpli magneți.

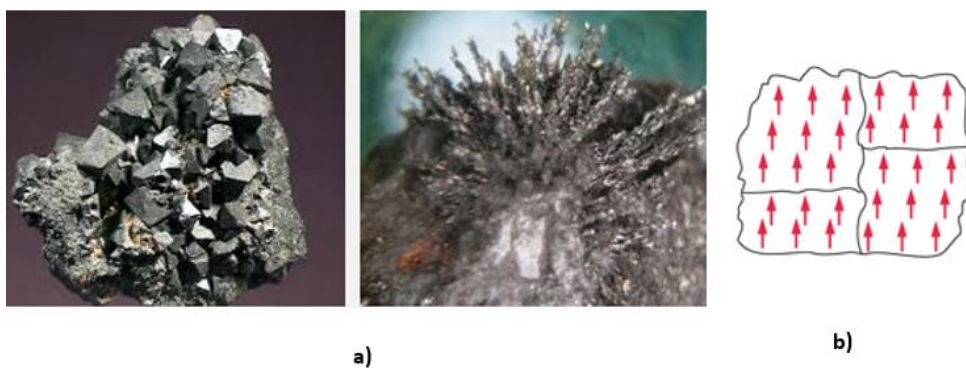


Fig. 9.1 (a) Magnetită (b) domenii magnetice la feromagneți

Dacă în zona din vecinătatea unui magnet punem pilitură de Fe aceasta se ordonează formând linii care indică modificarea proprietăților spațiului din jurul magneților. Spunem că în jurul acestora avem un câmp magnetic. Câmpul magnetic poate fi modelat prin linii de câmp corelate cu modul de orientare al piliturii de Fe. Forma câmpului magnetic și liniile de câmp asociate depind de forma magnetului care îl produce.

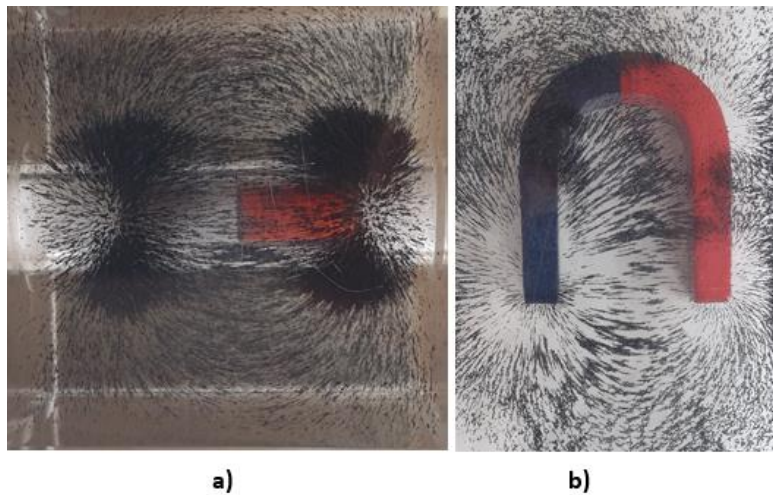


Fig. 9.2 Câmp magnetic (a) magnet bară (b) magnet potcoavă

Una din mărimile fizice uzuale care descrie câmpul magnetic este inducția câmpului magnetic. Inducția câmpului magnetic  $\vec{B}$  este o mărime vectorială și se măsoară în sistemul internațional în Tesla  $[T]$ . Orice magnet are doi poli, Nord și Sud. Prin convenție atunci când se reprezintă câmpul magnetic în jurul unui magnet liniile de câmp se consideră că ies din polul N și intră în polul S. Vectorul inducție a câmpului magnetic într-un punct este tangent la linia de câmp, orientat în sensul liniei de câmp și are modulul proporțional cu valoarea B. Cel mai intens este câmpul magnetic în vecinătatea polilor magneților.

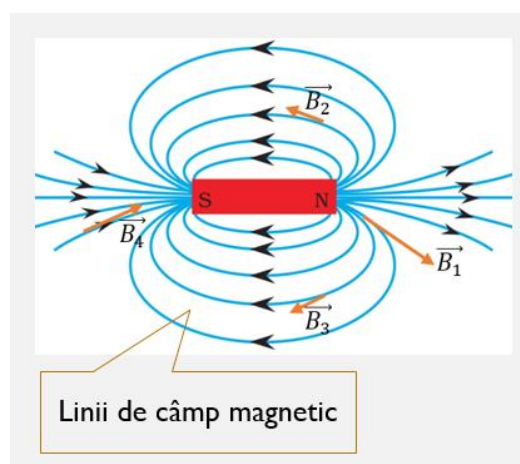


Fig. 9.3 Reprezentarea câmpului magnetic

Fundamental câmpul magnetic este generat însă de mișcarea sarcinilor electrice, astfel orice curent electric care parcurge un conductor sau circuit electric generează în jur câmp magnetic.

Deoarece partea experimentală este legată de bobine vom discuta despre câmpul magnetic generat de curentul electric care trece prin acestea.

În exemplul de mai jos (Fig. 9.4) avem o bobină parcursă de curent electric și câmpul magnetic generat în jurul acesteia. Liniile de câmp în interiorul bobinei sunt aproximativ paralele și echidistante, câmpul magnetic fiind aproximativ uniform. Orientarea liniilor de câmp magnetic este stabilită cu regula mâinii drepte. Se prinde bobina astfel încât 4 degete să înconjoare bobina în sensul curentului electric, degetul mare perpendicular indicând sensul liniilor de câmp.

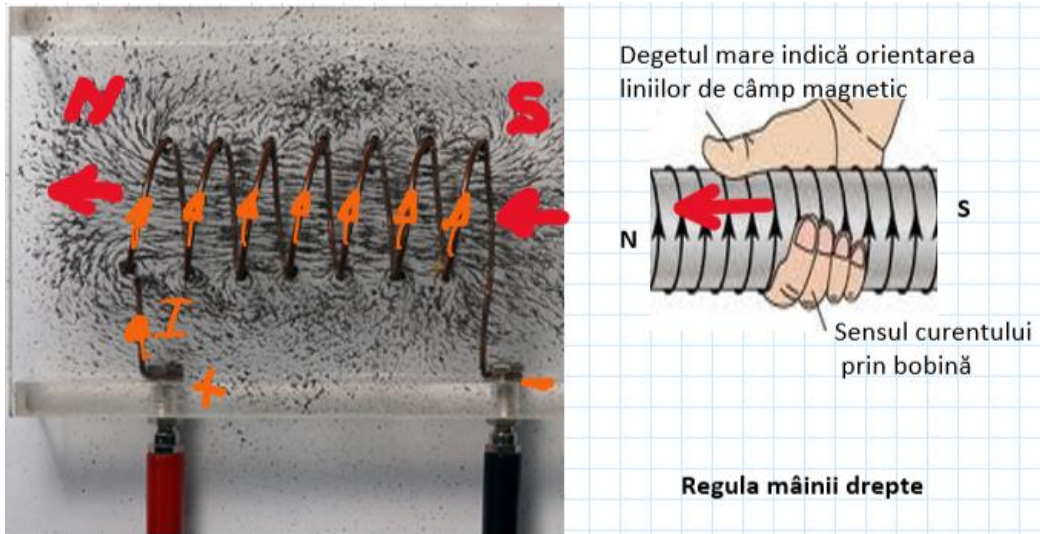


Fig. 9.4 Regula mâinii drepte și stabilirea polilor bobinei parcurse de curent

Dacă se aplică legea circuitală Ampere pe o curbă închisă conform Fig. 9.5 se obține valoarea inducției câmpului magnetic în interiorul solenoidului.

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \frac{NI}{L} \quad (9.1)$$

Unde  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{N/A}^2$  este permeabilitatea magnetică a vidului, N numărul de spire al bobinei, I intensitatea curentului prin bobină, L lungimea bobinei.

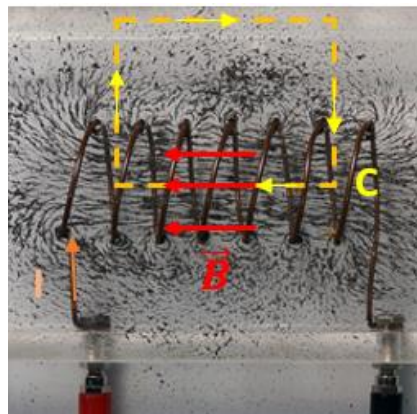


Fig. 9.5 Aplicarea legii lui Ampere

Deși inducția câmpului magnetic pentru o bobină formată din multe spire alăturate, una lângă alta, este aproape constantă în interior, pe axul bobinei departe de margini spre capetele bobinei descrește semnificativ, o relație care corepunde mai bine situației este următoarea :

$$B = \frac{\mu NI}{2L} \left( \frac{x + \frac{L}{2}}{\sqrt{R^2 + (x + L/2)^2}} - \frac{x - \frac{L}{2}}{\sqrt{R^2 + (x - L/2)^2}} \right) \quad (9.2)$$

Unde  $\mu$  este permeabilitatea magnetică a mediului din interiorul bobinei,  $I$  intensitatea curentului care o parcurge,  $N$  numărul de spire iar  $R$  este raza bobinei,  $x = 0$  la mijlocul bobinei și  $x = \pm L/2$  la capete.

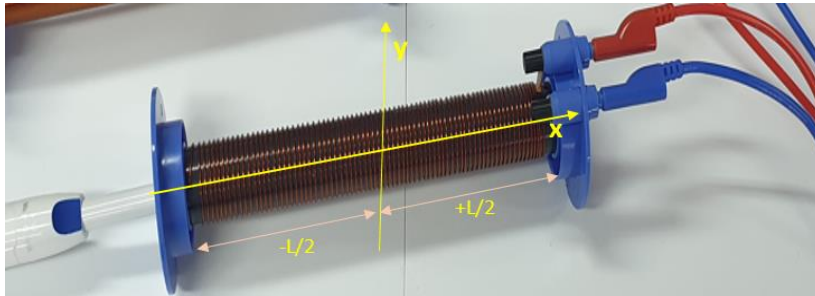


Fig. 9.6 Bobină parcursă de curent

Dacă în interiorul unei bobine se introduce un miez magnetic din material feromagnetic inducția câmpului magnetic crește foarte mult conform relației:

$$B = \mu_0 \mu_r \frac{NI}{l} \quad (9.3)$$

Unde  $\mu_r$  este permeabilitatea magnetică relativă a miezului magnetic. În cazul anumitor materiale care conțin Fe (99%)  $\mu_r = 5000$ , dar poate fi și mult mai mare. În cazul aerului  $\mu_r = 1$ .

### 9.3 Cerințe

Se va folosi dipozitivul experimental format din următoarele elemente:

- Cobra SMARTsense – senzor de câmp magnetic pe 3axe.
- Generator electric 230V, cc 0-12V, 2 A , ca 6V~, 12V~, 2A
- Bobine: diametru 25mm-300 spire, diametru 25 mm-75 spire, diametru 40mm-100spire.
- Multimetru digital 0-600V cc, 0-20A cc/ca.
- Fire conductoare de legătură
- Software measureAPP-PHYWE.
- 

#### A. Experimentul 1

##### Studiul dependenței inducției câmpului magnetic de numărul de spire al bobinei

- Se va realiza circuitul electric din figura de mai jos utilizând generatorul electric la 12Vcc, 1.2A. Intensitatea curentului va fi păstrată constantă în timpul experimentului.
- Se vor conecta pe rând cele două bobine  $N = 75$  spire,  $d = 25$ mm;  $N = 300$  spire,  $d = 25$  mm.



- Sensorul de câmp magnetic va fi introdus cu capătul său în centrul bobinei și se va determina valoarea inducției câmpului magnetic. Se va repeta măsurarea deplasând sensorul spre capătul bobinei din cm în cm. Datele vor fi trecute în tabel.

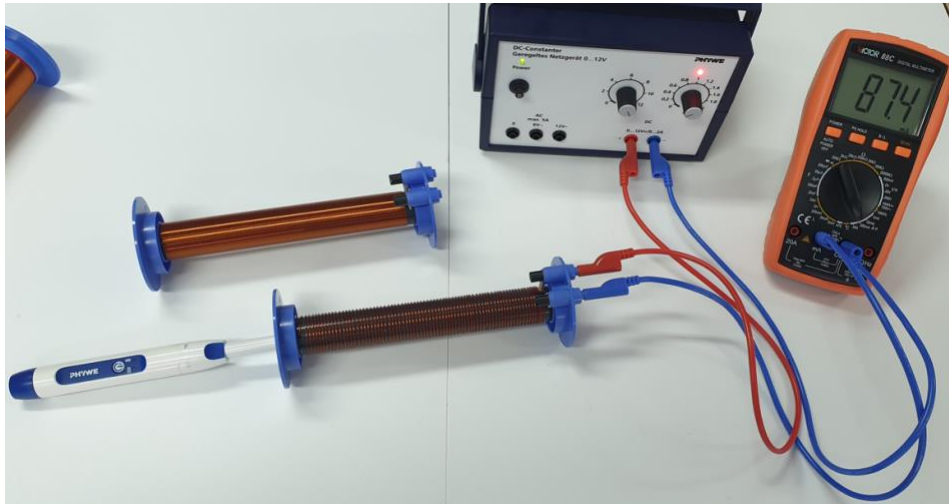


Fig. 9.7 Măsurarea inducției magnetice cu sensorul magnetic

	x (cm)	0	1	2	3	4	5	6	7	8
N = 300 spire I = 1,2 A	B (mT)									
N = 75 spire I = 1,2A	B (mT)									

Tabelul 9.1 Date experimentale

- Se vor înregistra datele în aplicația measureAPP comparându-se rezultatele pentru cele două bobine.

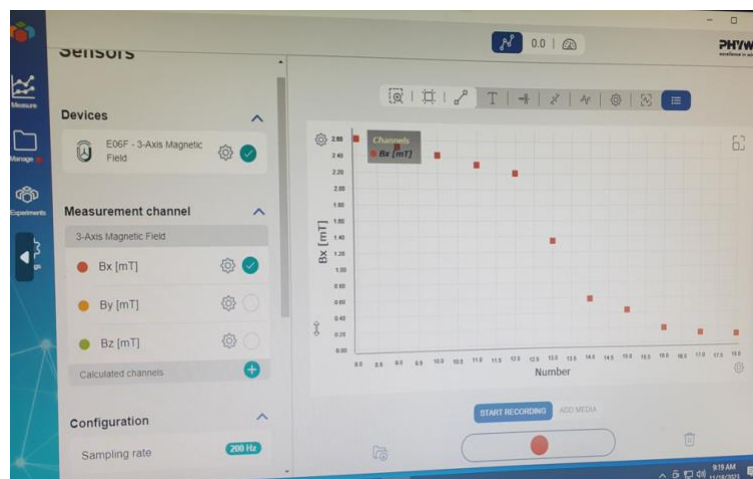


Fig. 9.8 Măsurarea **B** folosind aplicația measureAPP

Se vor discuta rezultatele și se vor formula concluzii legate de dependența inducției câmpului magnetic de numărul de spire și de poziția în raport cu centrul bobinei. Experimentul poate fi repetat pentru mai multe tipuri de bobine. (Fig 9.9)

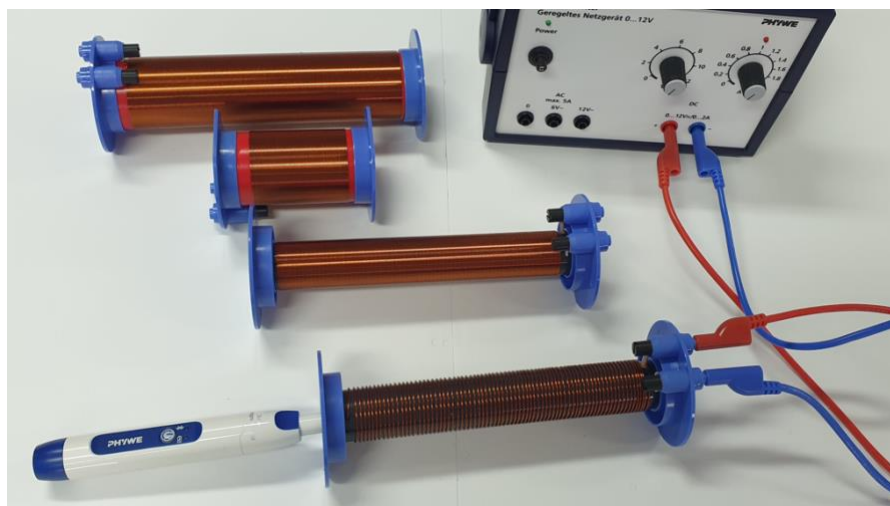


Fig. 9.9 Tipuri de bobine

## B. Experimentul 2

### Studiul dependenței inducției câmpului magnetic în centrul bobinei de intensitatea curentului care trece prin bobină

Dependența inducției câmpului magnetic de intensitatea curentului electric care o parcurge în centrul bobinei departe de capete este dată de relația (9.3). Pentru a verifica această dependență se realizează montajul din figura 9.10. Procedura experimentală este după cum urmează:

- Se va seta generatorul electric inițial la  $I = 0A$  și  $U = 12V$ , ampermetrul pe scala de 200mA cc.
- Se introduce senzorul de câmp magnetic cu vârful în centrul bobinei. Se va seta să măsoare doar pe direcție axială  $B_x$  pe scala  $-5mT \rightarrow 5mT$ .
- Menținând senzorul în centrul bobinei se crește intensitatea curentului prin bobină din 10mA în 10mA și se reperă măsurătorile inducției câmpului magnetic. Se va completa tabelul repetând experimentul pentru bobine diferite.

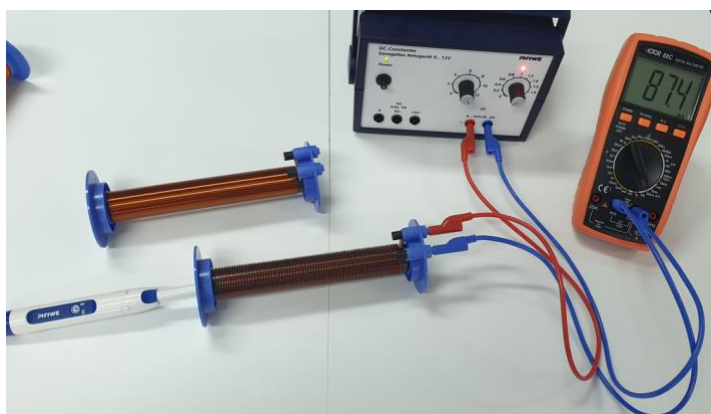


Fig. 9.10 Măsurarea B și I

	I(mA)	10	20	30	40	50	60	70	80
N = 75 spire	B(mT)								
N = 300 spire	B(mT)								

Tabelul 9.2 Date Experimentale

- Se vor înregistra valorile în aplicația measureAPP.
- Se vor discuta rezultatele comparând cu relația teoretică.

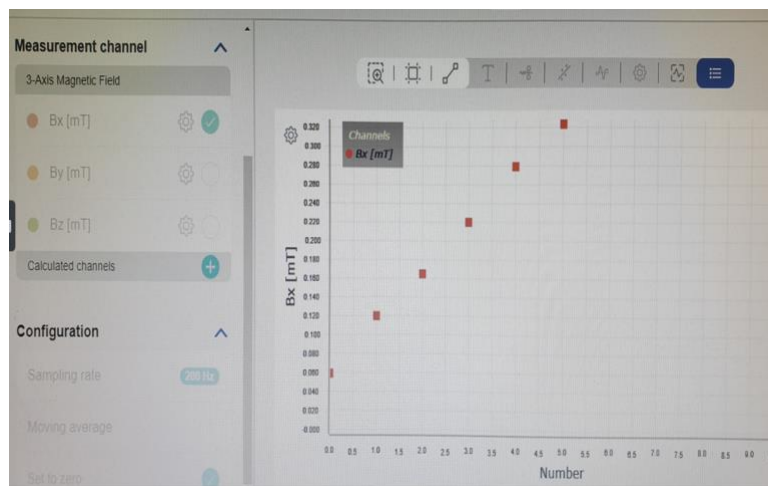


Fig. 9.11 Înregistrarea datelor în aplicația measureAPP

### C. Experimentul 3

#### Studiul superpoziției câmpurilor magnetice generate de două bobine

Dacă într-o zonă din spațiu există mai multe câmpuri magnetice, acestea se suprapun generând un câmp magnetic rezultat de inducție magnetică dată de suma vectorială a inducțiilor magnetice ale câmpurilor individuale.

$$\vec{B} = \sum \vec{B}_i \quad (9.4)$$

Se poate proba acest fapt aducând în vecinătate două bobine parcurse de curent având axele coliniare. Se poate măsura câmpul magnetic rezultat pe axul comun atât în cazul parcurgerii cu curenți în același sens dar și în sens opus.

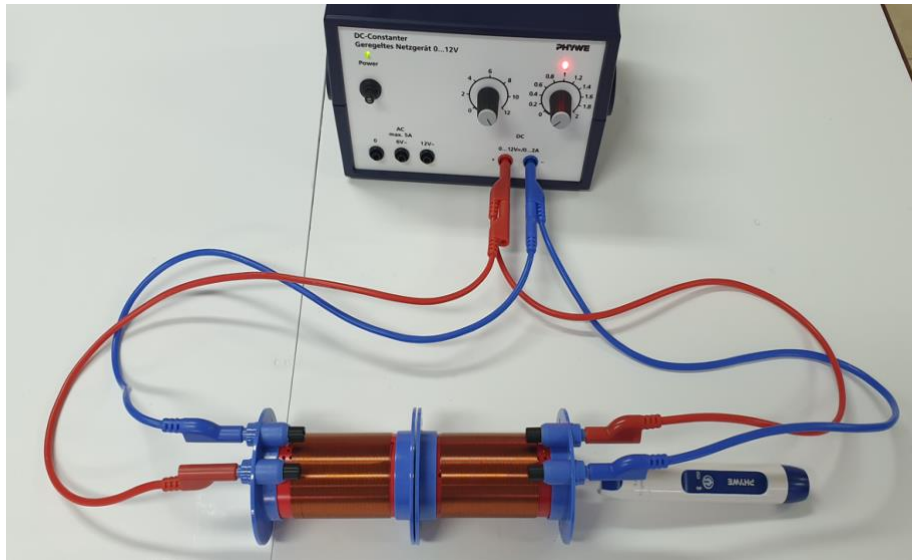


Fig. 9.12 Experiment de evidențiere a superpoziției câmpurilor magnetice

În funcție de sensul curentului prin bobine inducția câmpului magnetic rezultat pe axul comun va fi diferită.

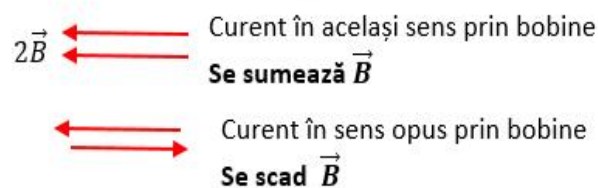
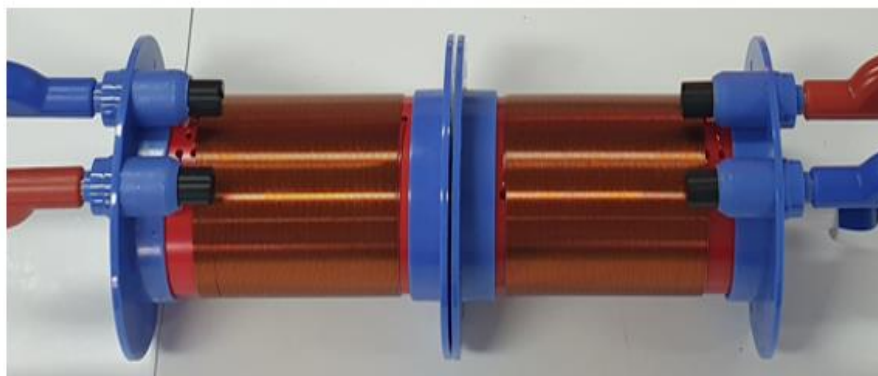


Fig. 9.13 Insumarea vectorială a inducțiilor magnetice a două câmpuri care se suprapun

Procedura experimentală este următoarea:

- În experiment vor fi utilizate bobine identice ( $N = 100$  spire, diametru = 40mm).
- Se va realiza montajul din Fig 9.12. Vor fi analizate două situații: (a) sensul curentului prin bobine identic; (b) sensul curentului prin bobine opus.
- Se va utiliza senzorul de câmp magnetic pentru a măsura și înregistra în aplicația measureAPP valoarea inducției câmpului magnetic pe axul comun al bobinelor începând de la un capăt al sistemului. Se vor face măsurători din cm în cm.
- Se vor discuta rezultatele și se va compara cu predicția teoretică.

## D. Experimentul 4

### Măsurarea permeabilității magnetice a unei bare de Fe

Una din modalitățile cele mai eficiente de a mări în practică intensitatea câmpului magnetic este de a utiliza miezuri magnetice cu conținut mare de Fe sau alte materiale feromagnetice. Pentru determinarea permeabilității magnetice a unei bare de fier se va realiza montajul din figura de mai jos.

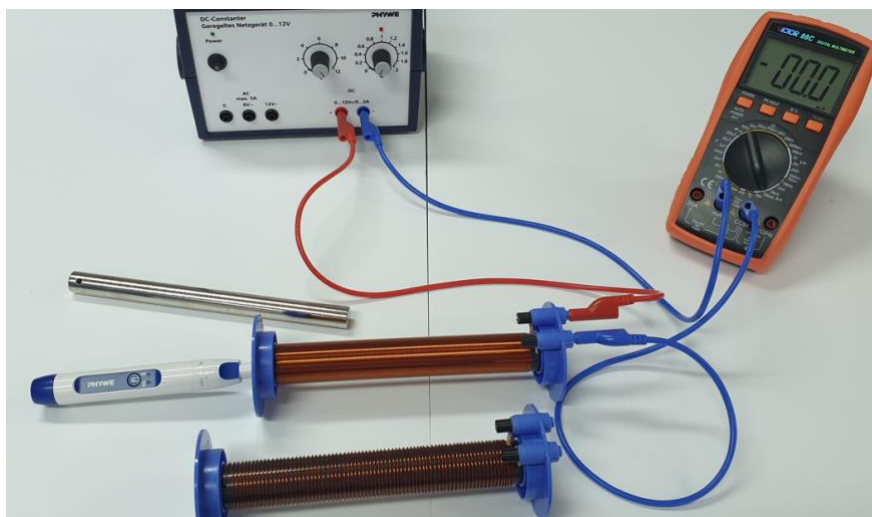


Fig. 9.14 Dispozitiv experimental pentru măsurarea permeabilității magnetice a unei bare de Fe

Procedura experimentală este după cum urmează:

- Se vor folosi pe rând două bobine  $N = 75$  spire,  $N = 300$  spire.
- Se vor conecta la generatorul electric la momentul inițial setat la  $I = 0A$ ,  $U = 12V$  cc, ampermetru se va seta pe scala de 200mA și nu se va depăși această valoare a curentului.
- Se va așeza senzorul de câmp magnetic la capătul bobinei și se va măsura inducția câmpului magnetic incrementând valoarea intensității curentului din 10mA în 10mA. Se vor înregistra valorile în aplicația measureAPP. Se vor repeta măsurările pentru fiecare din cele două bobine în absența și în prezența barei de Fe. În figura 9.15 este prezentat un exemplu de colectare a datelor experimentale în aplicația measureAPP

	I (mA)	10	20	30	40	...
N = 75 spire						
Fără bară Fe	B (mT)					
Cu bară Fe	B (mT)					
N = 300 spire						
Fără bară Fe	B (mT)					
Cu bară Fe	B (mT)					

Tabelul 9.3 Date experimentale

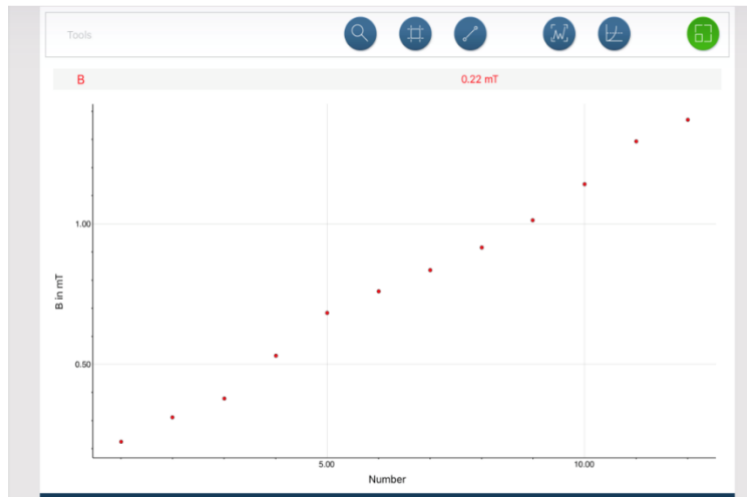


Fig. 9.15 Măsurarea B cu senzorul de câmp magnetic și aplicația measureAPP

- Se va reprezenta grafic inducția câmpului magnetic funcție de intensitatea curentului  $B(I)$  pentru fiecare situație.
- Se va discuta și se va determina din datele experimentale permeabilitatea magnetică a barei de Fe utilizate în experiment.

## 10. Fenomenul de inducție electromagnetică.

### 10.1 Obiective

- ✓ Evidențierea fenomenului de inducție electromagnetică.
- ✓ Verificarea regulii lui Lenz.
- ✓ Evidențierea fenomenului de autoinducție.
- ✓ Studiul generatorului de tensiune alternativă și continuă, cunoașterea principiului de construcție și funcționare.

### 10.2 Introducere teoretică

Fenomenul inducției electromagnetice a fost descoperit de către Michael Faraday și Joseph Henry, rezultatele primului experiment care evidențiază fenomenul de inducție electromagnetică fiind publicat în anul 1831 de către Faraday. Fenomenul de inducție electromagnetică constă în apariția unei tensiuni electromotoare induse și a unui curent indus într-un circuit străbătut de un flux magnetic variabil în timp. Un experiment simplu care ilustrează fenomenul este prezentat în Fig.10.1.

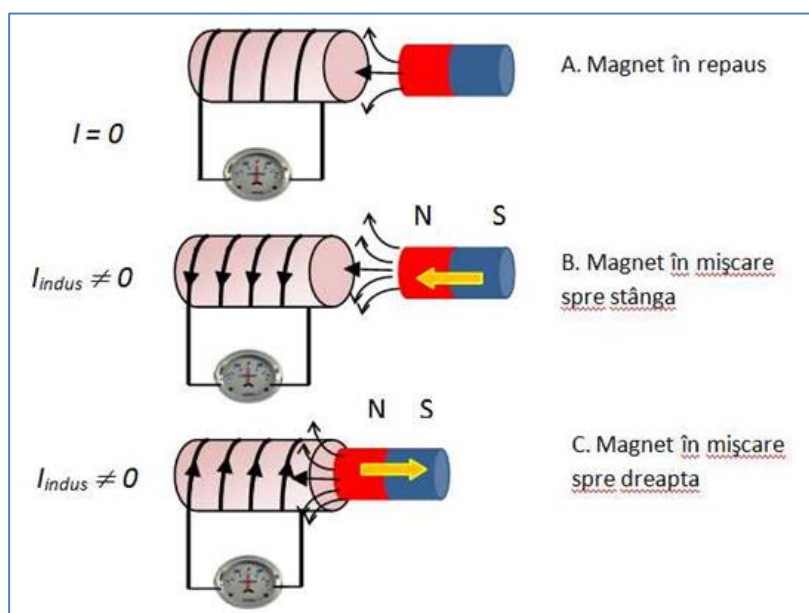


Fig 10.1 Experiment care evidențiază fenomenul de inducție electromagnetică

Se consideră o bobină la bornele căreia legăm un miliampermetru formând un circuit închis. Aducem în vecinătatea acestui circuit un magnet. Dacă magnetul este în repaus, ampermetrul nu indică nici un curent. Dacă magnetul este deplasat înainte și înapoi între spirele bobinei acul ampermetrului deviază indicând prezența în circuitul bobinei a unui curent numit curent indus care indică faptul ca acest sistem (bobină+magnet) se comportă ca un generator electric, tensiunea electromotoare care apare numindu-se tensiune electromotoare indusă.

## Regula lui Lenz

Sensul curentului indus este legat de mișcarea magnetului și de modul în care sunt orientați polii magnetului față de bobină. Regula care stabilește sensul curentului indus și a tensiunii electromotoare induse se numește regula lui Lenz și se enunță astfel: tensiunea electromotoare indusă și curentul indus au un astfel de sens încât să se opună variației câmpului magnetic inductor (care este cauza fenomenului). Modul de aplicare a regulii lui Lenz pentru experimentul descris în Fig.10.1 este ilustrat mai jos. În Fig. 10.2 magnetul intră cu polul N între spirele bobinei. Câmpul magnetic inductor  $B_{inductor}$  este orientat spre stânga și determină un flux crescător prin bobină. Conform regulii lui Lenz câmpul magnetic indus  $B_{indus}$  trebuie să determine un flux care să se opună acestei creșteri adică să fie în sens opus lui  $B_{inductor}$ . Prin urmare curent indus prin bobină trebuie să aibe un astfel de sens încât să determine  $B_{indus}$  care să se opună creșterii lui  $B_{inductor}$ . Modul de asociere a sensului curentului în bobină cu inducția câmpului magnetic generat de acesta este dat de regula mâinii drepte prezentate în Fig. 10.3.

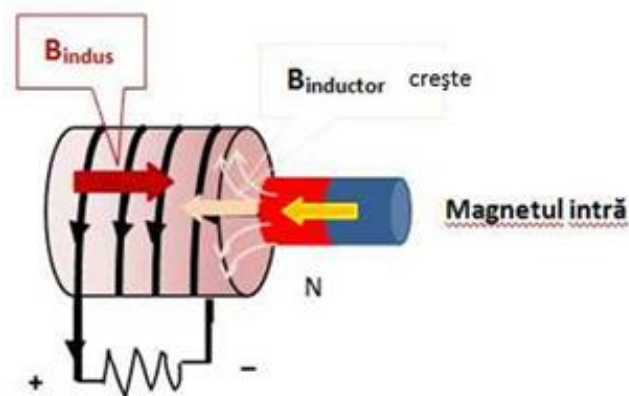


Fig. 10.2 Regula lui Lenz – magnetul intră

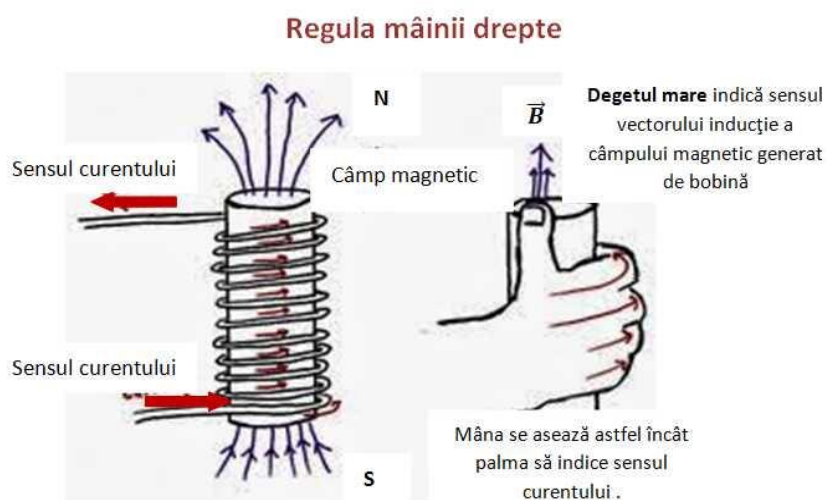


Fig. 10.3 Regula mâinii drepte



Dacă magnetul iese din bobină (Fig. 10.4) atunci câmpul magnetic produs de acesta, câmpul inductor  $B_{\text{inductor}}$ , deși păstrează același sens ca și în cazul în care magnetul intră în bobină, fluxul prin bobină este descrescător. Câmpul magnetic indus  $B_{\text{indus}}$  trebuie să determine un flux care să se opună descresțerii adică să fie în același sens cu  $B_{\text{inductor}}$ . Prin urmare curentul generat în bobină (Fig. 10.4), care determină  $B_{\text{indus}}$ , este invers decât în situația prezentată anterior (Fig. 10.2).

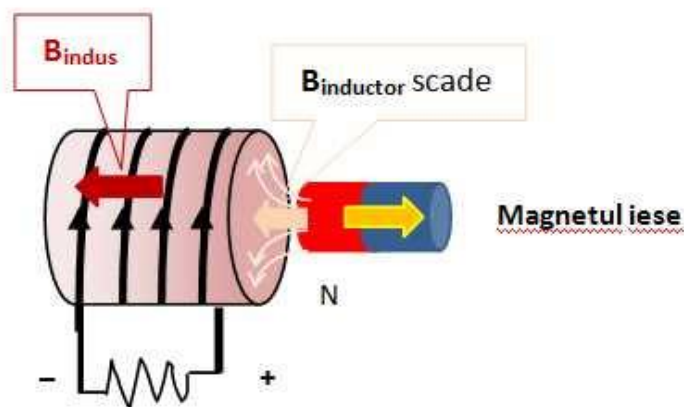


Fig. 10.4 Regula lui Lenz – magnetul iese.

În cazul în care se schimbă orientarea magnetului exterior (Fig. 10.5), adică se introduce și se scoate cu polul S magnetul în bobină, pentru a deduce sensul curentului indus se aplică același raționament ca cel prezentat mai sus.

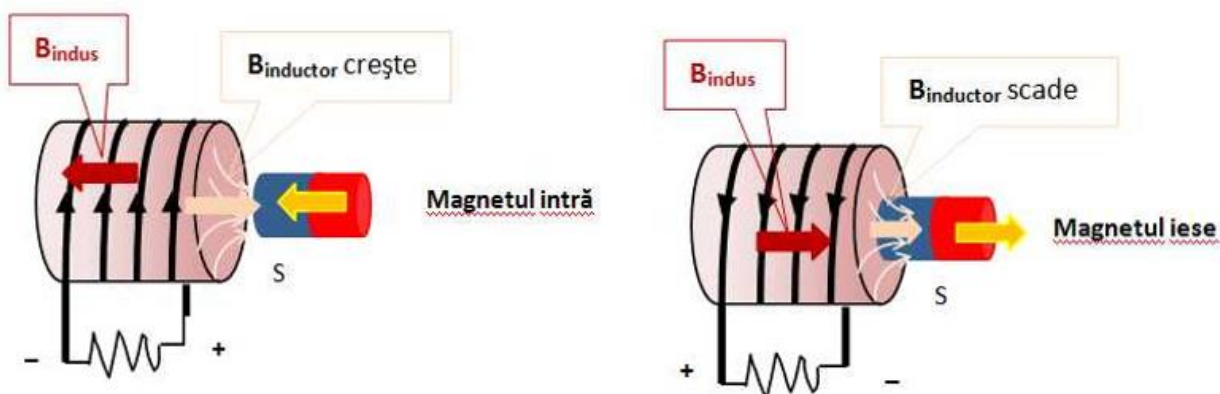


Fig. 10.5 Regula lui Lenz, se schimbă polaritatea magnetului

## Legea lui Faraday

Legea lui Faraday este o relație matematică care exprimă valoarea *tensiunii electromotoare induse* într-un circuit electric ca urmare a variației fluxului magnetic în respectivul circuit și anume,

$$e = -\frac{d\Phi}{dt} \quad (10.1)$$

Tensiunea electromotoare indusă (notată cu  $e$ ) este egală cu “-” viteza de variație a fluxului magnetic în circuit (notat cu  $\Phi$ ).

Exemplificăm modul de aplicare a legii lui Faraday pe circuitul din Fig. 10.6.

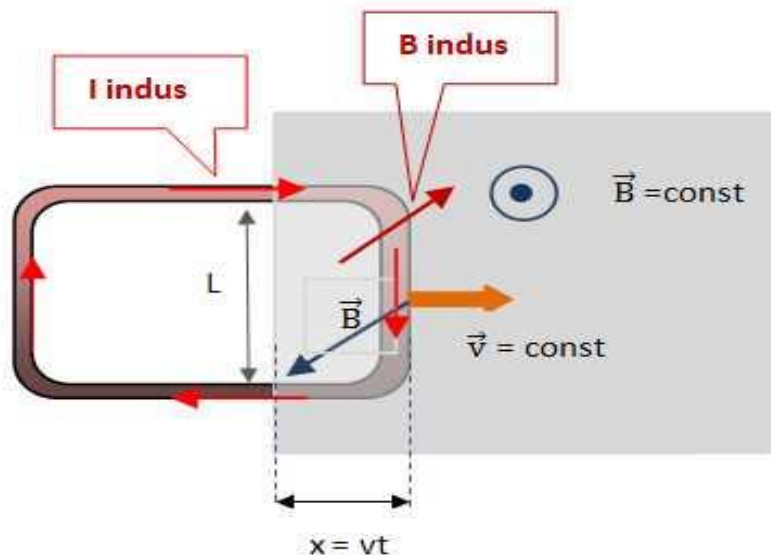


Fig. 10.6 Legea lui Faraday – Exemplu de aplicare

Avem un conductor închis de formă dreptunghiulară care intră într-un camp magnetic uniform cu viteză constantă. Conform legii lui Faraday, tensiunea electromotoare indusă în circuit va fi:

$$e = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d(\vec{B} \cdot \vec{S})}{dt} = -\frac{d(BS)}{dt} = -B \frac{d(S)}{dt} = -B \frac{d(Lvt)}{dt} \quad (10.2)$$

$$e = -BLv \quad (10.3)$$

Semnul “-” include regula lui Lenz, determină sensul curentului indus în circuit. Curentul indus trebuie să aibe un asemenea sens încât să determine un camp magnetic indus,  $B_{indus}$ , a cărui flux să se opună fluxului magnetic inductor.

## Autoinducția

Fenomenul de autoinducție este un caz particular al fenomenului de inducție electromagnetică. Autoinducția apare în orice circuit electric în care avem un curent electric variabil. De exemplu într-un circuit în care avem o bobină și un întrerupător, fenomenul de autoinducție apare la închiderea și deschiderea întrerupătorului (Fig.10.7).

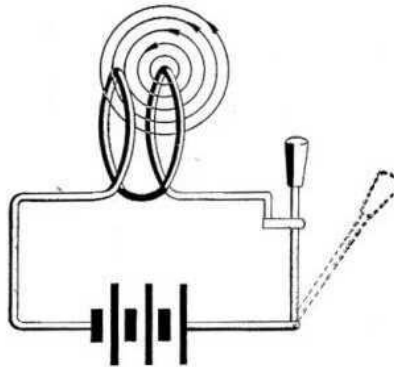


Fig. 10.7 Fenomenul de autoinducție

La închiderea întrerupătorului de exemplu, curentul crește de la 0 la o valoare constantă mai întâi prin prima spiră, a doua spiră încă neparcursă de curent (pentru o fracțiune f.f. scurtă de timp) este străbătută de un flux crescător și generează un curent indus care determină un flux magnetic care se opune creșterii fluxului inductor. Ca urmare, până la stabilizarea curentului la valoarea constantă, bobina se opune, generând un contracurent care se opună curentului inductor. La deschiderea întrerupătorului fenomenul se propuce exact invers, adică bobina se opune descreșterii curentului, deci descreșterii fluxului magnetic, generând un curent indus în sens invers. Ca urmare există un interval de timp scurt în care deși circuitul este deschis încă mai avem curent în bobină ca urmare a fenomenului de inducție electromagnetică (de fapt în acest caz e vorba de autoinducție).

Mărimea fizică care măsoară modul de comportare al circuitelor electrice de diferite tipuri din punctul de vedere al fluxului magnetic generat la creșterea sau descreșterea curentului electric se numește **inductanță** și se definește prin relația:

$$L = \frac{d\Phi}{di} \quad (H- Henry) \quad (10.4)$$

Inductanța este un fel de inerție a circuitului care se opune unor factori modificatori cum ar fi încercarea de a închide sau a deschide un circuit. Inductanța este echivalentul inerției în sens mecanic. Un corp de masă  $m$  se opune atunci când factori exteriori încercă să îi modifice starea de mișcare, această proprietate după cum bine știm numindu-se inerție.

Un calcul simplu arată că inductanța unei bobine cu  $N$  spire se calculează conform relației:

$$L = \mu_0 \mu_r \frac{N^2 S}{L} \quad (10.5)$$

Unde  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} N/A^2$  este permeabilitatea absolută a vidului,  $\mu_r$  este permeabilitatea relativă a miezului magnetic al bobinei,  $N$  numărul de spire,  $S$  aria unei spire,  $L$  lungimea bobine

Legea autoinducție se scrie astfel:

$$e_a = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d(LI)}{dt} \quad \text{dacă } L = \text{const. atunci,}$$

$$e_a = -L\frac{dI}{dt} \quad (10.6)$$

### Generarea tensiunii electromotoare alternative sinusoidale

Una din aplicațiile cele mai importante ale fenomenului de inducție electromagnetică este conversia energiei mecanice în energie electrică și anume generatorul electric. Cel mai simplu generator electric este generatorul de tensiune alternativă sinusoidală sau mai simplu spus alternatorul. Acesta este format dintr-o spiră sau mai multe spire care se rotesc cu viteză constantă într-un câmp magnetic uniform generat de exemplu de un magnet permanent. (Fig.10.8)

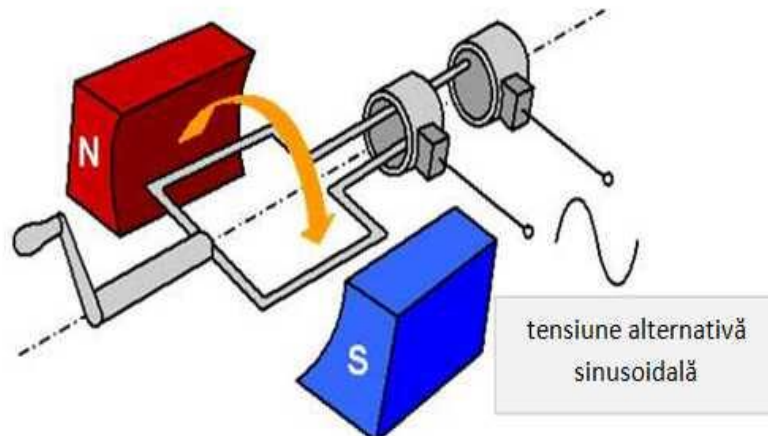


Fig. 10.8 Generatorul de tensiune alternativă sinusoidală

Fluxul magnetic printr-o spiră este:

$$\Phi = \vec{B} \cdot \vec{S} = BS\cos\alpha = BS\cos\omega t \quad (10.7)$$

Unde  $\omega$  este viteza unghiulară de rotație uniform a unei spire,  $\vec{S}$  este vectorul suprafață,  $\vec{B}$  inducția câmpului magnetic în care se află spira. Dacă avem  $N$  spire (bobină) atunci:

$$\Phi = N\vec{B} \cdot \vec{S} = NBS\cos\omega t = \Phi_{max}\cos\omega t \quad (10.8)$$

Conform legii lui Faraday tensiunea electromotoare indusă este:

$$e = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d(NBS\cos\omega t)}{dt} = NBS\omega \sin\omega t = E_{max}\sin\omega t \quad (10.9)$$

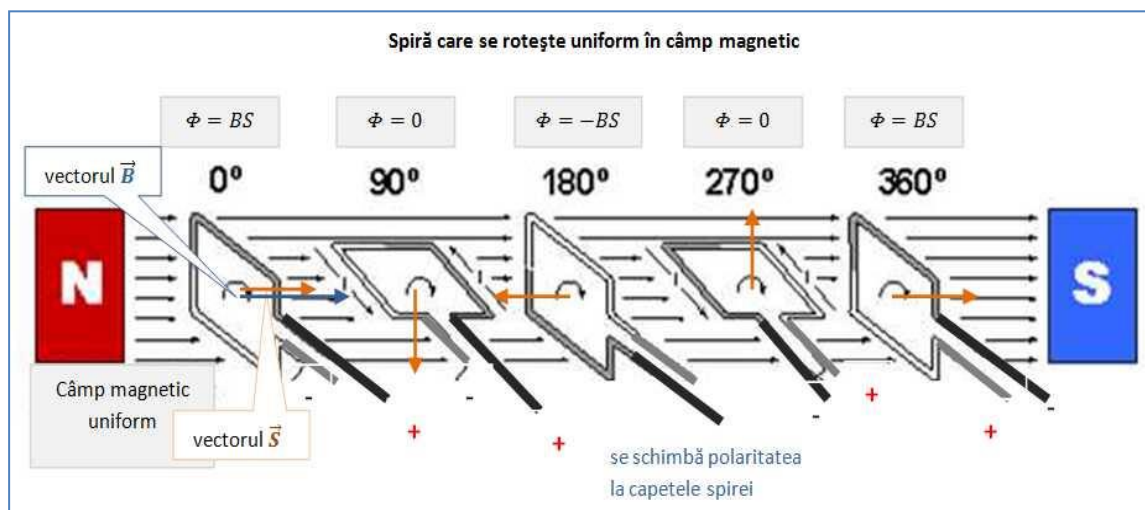


Fig. 10.9 Fluxul magnetic printr-o spiră care se rotește uniform în câmp magnetic

Dacă se reprezintă grafic variația fluxului magnetic prin suprafața spirei și a tensiunii electromotoare timp de o perioadă (o rotație completă de 360 de grade) se obține graficul din Fig.10.10 Așa cum rezultă din relația (8) tensiunea electromotoare indusă are o variație sinusoidală, într-o rotație completă a spirei sensul tensiunii electromotoare și deci a curentului indus în circuitul exterior se modifică de 2 ori. Prima jumătate a perioadei tensiunea indusă are o anumită polaritate și curentul în circuitul exterior va avea un anumit sens. A doua jumătate a perioadei, tensiunea indusă, are sens opus și curentul va circula în circuitul exterior în sens invers. Tensiunea generată în acest fel va fi alternativă sinusoidală.

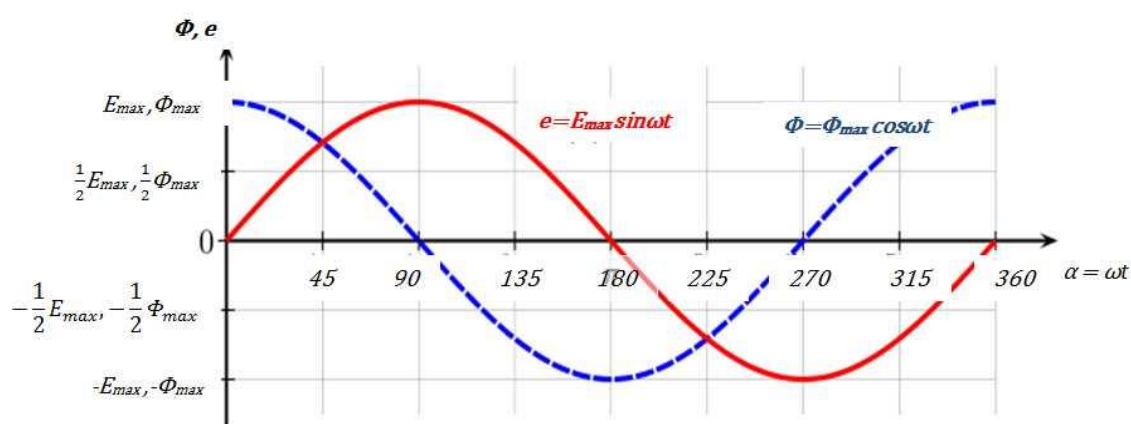


Fig. 10.10 Tensiunea alternativă sinusoidală

### Generarea tensiunii continue

În multe aplicații practice este utilizată tensiunea continuă. Pentru a genera o tensiune continuă se poate folosi același sistem descris mai sus modificându-se modul de colectare a tensiunii induse (Fig.10.11). În cazul generatorului de tensiune alternativă laturile spirelor care se rotesc în câmp magnetic sunt legate la două inele de colectare. În funcție de poziția spirelor, inele de colectare vor fi polarizate alternativ "+" și "-", tensiunea colectată fiind alternativă sinusoidală. În cazul generatorului de tensiune continuă, inele de colectare sunt înlocuite cu comutatoare care sunt de fapt jumătăți de inele. În timpul rotației, capetele spirelor comută între cele două jumătăți de inele (comutatoare) astfel

încât fiecare comutator va avea tot timpul același potențial “+” sau “-“. Tensiunea colectată pe un circuit exterior, deși nu este constantă, are aceeași polaritate iar curentul care va parcurge circuitul exterior va avea mereu în același sens.

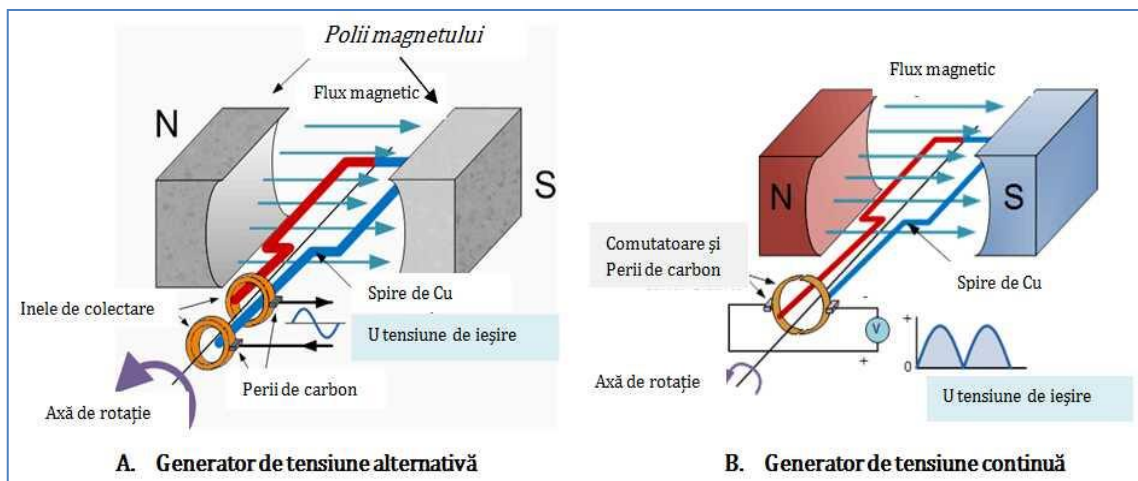


Fig. 10.11 Comparație între generatorul de tensiune alternativă și cel de tensiune continuă

### Dispozitivul experimental și modul de lucru

1. Pentru **evidențierea fenomenului de inducție electromagnetică** se vor folosi bobine, magneți permanenți, conductori de legătură și un voltmetru sau ampermetru (Fig.10.12). Se apropie și se îndepărtează magnetul de bobină și se observă indicațiile aparatului de măsură. Se schimbă polaritatea magnetului (capătul introdus în bobină) și se repetă experimentul. Se mărește și se micșorează viteza magnetului. Se menține magnetul fix și se mișcă bobina.



Fig. 10.12 Dispozitiv pentru evidențierea fenomenului de inducție electromagnetică

2. Pentru **verificarea regulii lui Lenz** se folosește un sistem format dintr-o bobină (circuitul primar) alimentată de la un generator de tensiune continuă și un întrerupător, bobina are în interior un miez magnetic. Miezul magnetic trece de asemenea printr-un inel din aluminiu, care reprezintă circuitul secundar, suspendat printr-un fir izolator (Fig.10.13). Se închide și se deschide circuitul și se observă ce se întâmplă cu inelul din aluminiu .

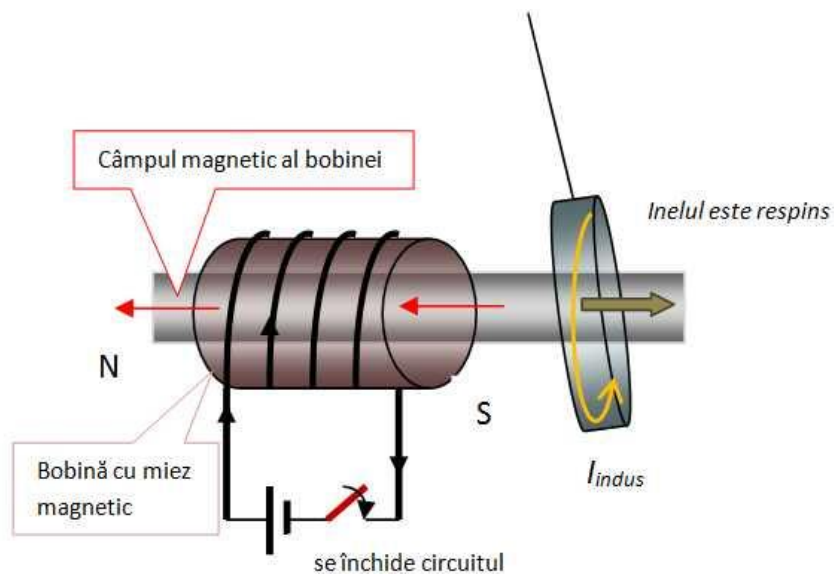


Fig. 10.13 Dispozitiv pentru verificarea legii lui Lenz

3. Pentru a **evidenția fenomenul de autoinducție** se utilizează următoarele elemente de circuit: un generator de tensiune continuă, întrerupător, bobină cu miez magnetic legată în paralel cu un bec (Fig.10.14). Se închide și se deschide întrerupătorul și se observă ce se întâmplă cu iluminarea dată de bec.

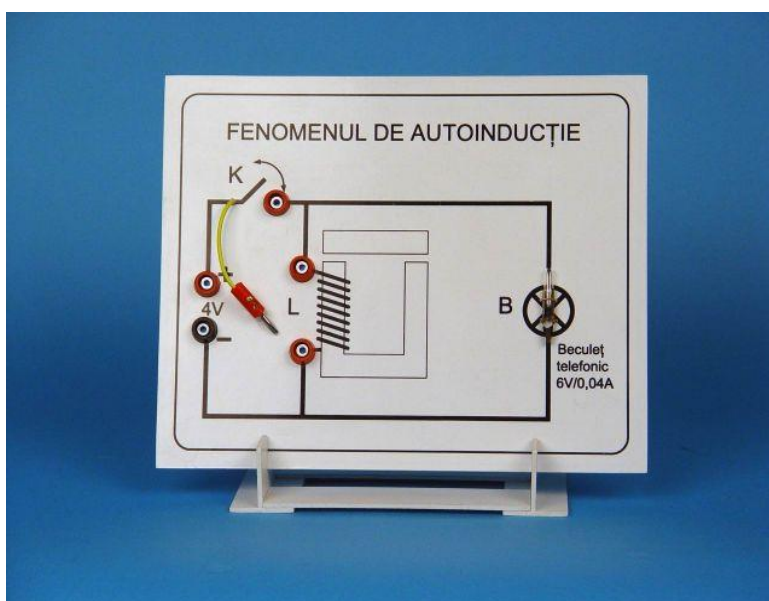


Fig 10.14 Dispozitiv pentru evidențierea fenomenului de autoinducție

4. Pentru studiul funcționării generatorului de tensiune alternativă și continuă de utilizează unul din dispozitivele din Fig. 10.15. Acestea sunt alcătuite din magnet fix și bobină mobilă care se rotește între polii magnetului sau, bobină fixă și magnet mobil. Mai avem nevoie de un voltmetru și fire conductoare de legătură.

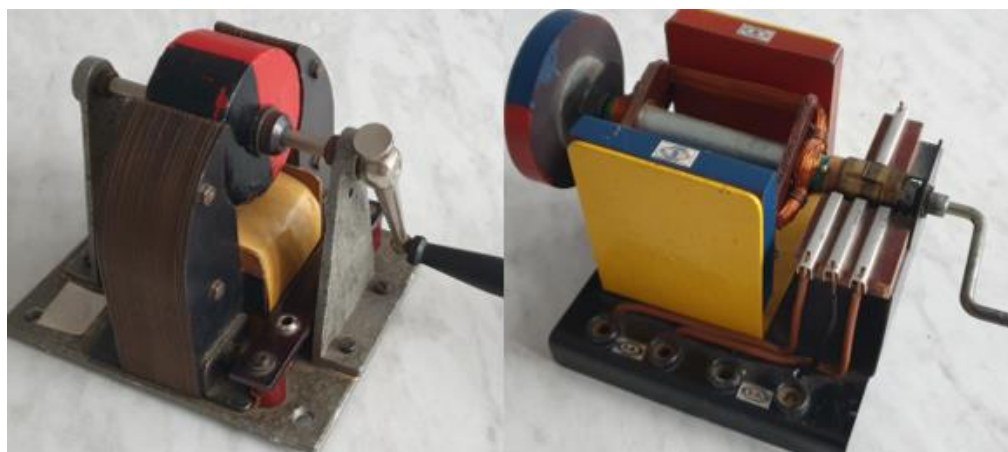


Fig. 10.15 Generator de tensiune alternativă și continuă

### 10.3 Cerințe

- A. Să se realizeze cel puțin 2 tipuri de experimente prin care să se evidențieze fenomenul de inducție electromagnetică.
- B. Să se evidențieze corelația dintre mișcarea magnetului și orientarea polilor acestuia și sensul curentului indus.
- C. Să se evidențieze corelația dintre viteza de creștere sau scădere a fluxului magnetic și valoarea curentului indus.
- D. Să se stabilească experimental și să se explice regula lui Lenz.
- E. Să se explice în ce constă fenomenul de autoinducție și cum se corelează iluminarea becului cu creșterea sau scăderea fluxului magnetic la închiderea sau deschiderea circuitului din figura 10.12.
- F. Să se explice modul în care se poate genera tensiune alternativă sinusoidală.
- G. Să se explice diferența între un generator de tensiune alternativă sinusoidală și unul de tensiune continuă din punct de vedere constructiv și al fenomenelor fizice care se produc.



# 11. Fenomenul de inducție electromagnetică și transformatorul

## 11.1 Obiective

- ✓ Aplicarea fenomenului de inducție electromagnetică la cazul particular al funcționării transformatorului.
- ✓ Utilizarea senzorului de câmp magnetic și a aplicației measureAPP-PHYWE pentru măsurarea inducției câmpului magnetic produsă de un curent electric variabil.

## 11.2 Introducere teoretică

O aplicație importantă a fenomenului de inducție electromagnetică este transformatorul. Transportul energiei electrice la distanță se face în condiții de pierderi minime de energie dacă se utilizează linii de înaltă tensiune, peste 100kV, și intensități mici ale curenților. Pe de altă parte utilizarea în condiții de siguranță a instalațiilor electrice obișnuite presupune tensiuni mici. În multe state ale lumii standardul este de 220V sau 120V tensiune efectivă. Din acest motiv un rol important în conversia tensiunilor mici în tensiuni mari și invers îl joacă transformatorul.

Un transformator ca model este format din două bobine cuplate printr-un miez magnetic care funcționează pe baza fenomenului de inducție electromagnetică.

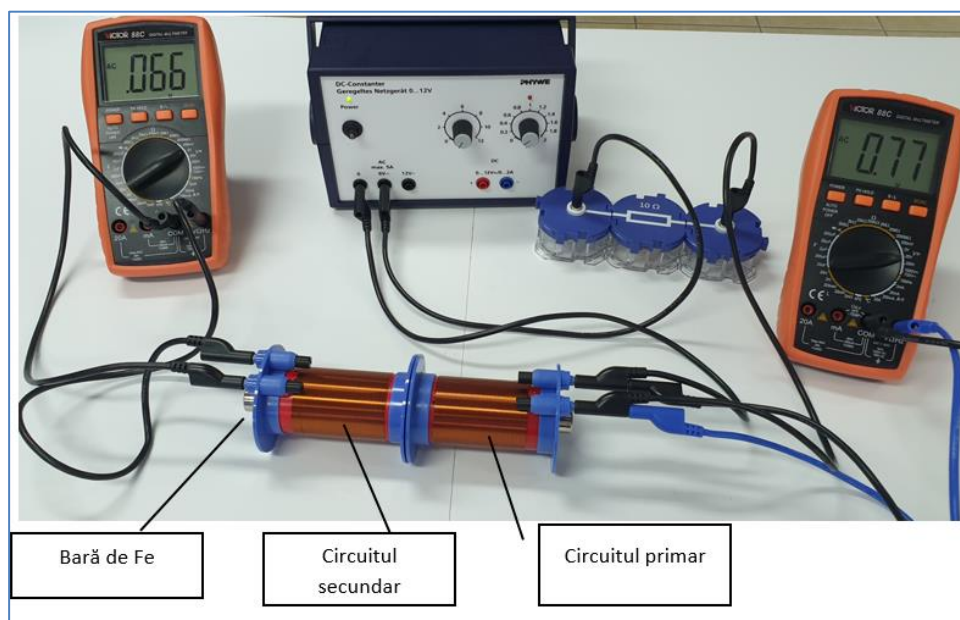


Fig. 11.1 Model de transformator realizat din două bobine cuplate printr-o bară de Fe

Una din bobine numită circuit primar este legată la o sursă de tensiune alternativă sinusoidală. Astfel în prima bobină se va stabili un curent electric variabil care generează un câmp magnetic variabil. Dar această primă bobină este în vecinătatea celei de a doua bobine care va fi la rândul său traversată de un flux magnetic variabil. Efectul este cu atât mai puternic dacă cele două bobine sunt cuplate printr-un miez/bară de Fe.

Conform legii lui Faraday tensiunea indusă în cele două bobine va fi:

$$\text{Circuitul primar } U_1 = -N_1 \frac{d\phi_B}{dt} \quad (11.1)$$

$$\text{Circuitul secundar } U_2 = -N_2 \frac{d\phi_B}{dt} \quad (11.2)$$

Fluxul magnetic care traversează cele două bobine fiind aproximativ același rezultă :

$$\frac{U_1}{N_1} = \frac{U_2}{N_2} \text{ sau } U_2 = U_1 \frac{N_2}{N_1} \quad (11.3)$$

Ceea ce înseamnă, ideal vorbind, că tensiunea indusă la bornele circuitului secundar depinde de raportul dintre numărul de spire ale bobinelor putând avea o valoare mai mare sau mai mică decât tensiunea aplicată circuitului primar după caz.

### 11.3 Cerințe

Se vor utiliza următoarele elemente pentru realizarea experimentului :

- Sursă de tensiune 230 V, DC: 0...12 V, 2 A / AC: 6 V, 12 V, 5 A
- Multimetre digitale 0-600V AC/DC, 0-10A AC/DC.
- Bobine 100 spire. 40 mm diametru
- Rezistor 10  $\Omega$
- Senzor de câmp magnetic 3 axe Cobra SMARTsense



Fig. 11.2 Senzor de câmp magnetic

- Cabluri de conectare
- measureAPP – aplicație software PHYWE

Se va realiza dispozitivul experimental din Fig 11.1 constând din două bobine aflate în vecinătate și cuplate printr-un miez de Fe. Se va lua în considerare următoarele:

- Generatorul electric conectat la circuitul primar va fi utilizat la 6V~.
- Se va utiliza în circuitul primar bobina cu  $N_1 = 100$  spire în serie cu un rezistor  $R = 10\Omega$ . În circuitul secundar se va folosi o bobină identică.

- Utilizarea senzorului de câmp magnetic Cobra SMARTsense se va face astfel încât să măsoare doar o componentă a câmpului magnetic ( $B_x$ ).
- Se va măsura tensiunea electrică în circuitul primar  $U_{\text{primar}}$  și secundar  $U_{\text{secundar}}$  în absența și în prezența barei de Fe. Se va completa tabelul. Voltmetrele vor fi utilizate în regim curent alternativ.
- Se va măsura inducția câmpului magnetic pe axul bobinei în vecinătatea barei de Fe folosind senzorul de câmp magnetic. Se vor face înregistrări câteva secunde în modul continuu. Se va completa tabelul.



Fig. 11.3 Modul de realizare a măsurării cu senzorul de câmp magnetic

	$U_{\text{primar}}$ (V)	$U_{\text{secundar}}$ (V)	$B_{\text{max}}$ (mT)
Fără bara de Fe			
Cu bara de Fe			

Tabelul 11.1 Date experimentale

- Se vor discuta rezultatele.
- Se va analiza experimental ce se întâmplă cu valoarea tensiunii induse în circuitul secundar dacă se modifică poziția barei de fier și poziția bobinelor.







## 12. Câmpul magnetic al Pământului

### 12.1 Obiective

- ✓ Măsurarea componentei orizontale a inducției câmpului magnetic terestru local.
- ✓ Măsurarea componentei verticale a inducției câmpului magnetic terestru local.
- ✓ Înțelegerea rolului câmpului magnetic al Pământului în explicarea unor fenomene atmosferice: aurorele polare, protecția împotriva fluxului de radiații corpusculare solare.

### 12.2 Introducere teoretică

#### Câmpul magnetic terestru

Câmpul magnetic al Pământului ca model este foarte asemănător cu cel generat de un magnet în formă de bară, magnet înclinat cu aproximativ  $11^\circ$  față de axa polilor geografici. Valorile inducției câmpului magnetic terestru sunt cuprinse în medie între  $[25000-650000]$ nT, valorile mari fiind în vecinătatea polilor geografici, cele mici în zona Ecuatorului.

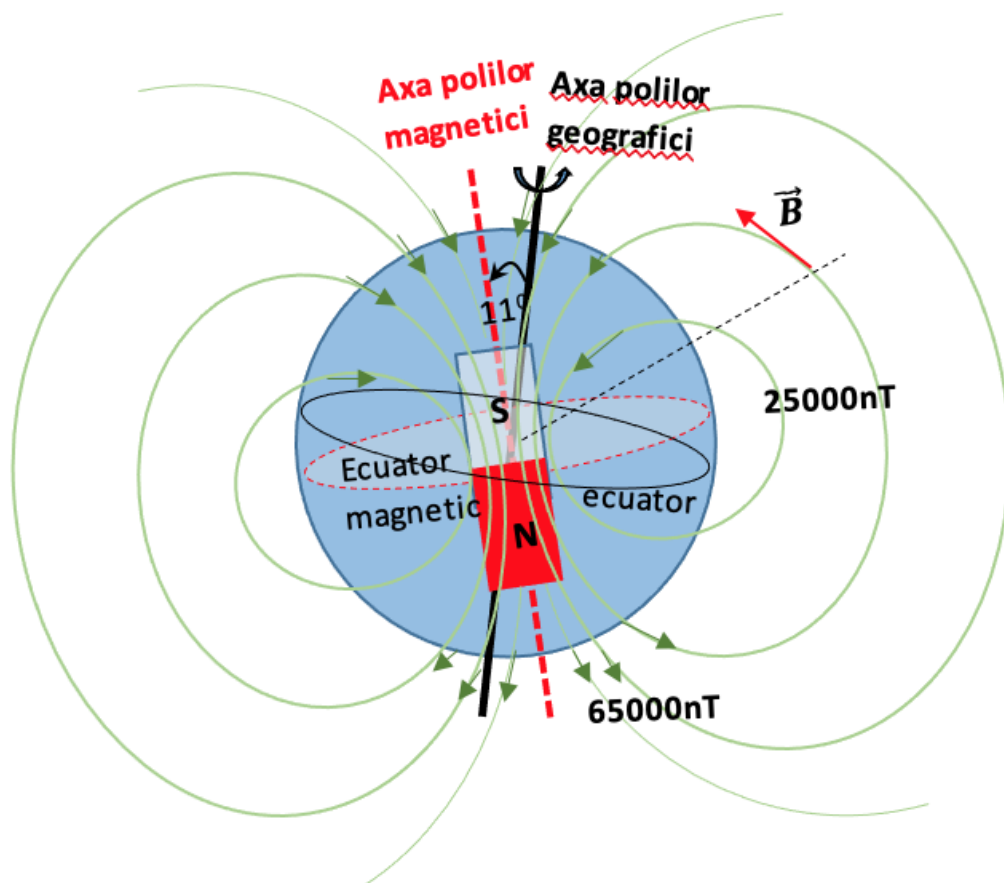


Fig. 12.1 Câmpul magnetic al Pământului – Model

Ca repere generale în evoluția cunoașterii noastre legate de câmpul magnetic terestru prezentăm pe scurt următoarele puncte importante.

Încă din antichitate busola, care presupune orientarea unui ac magnetic în câmpul magnetic terestru, a fost unul din instrumentele cele mai folosite pentru navigație. A devenit destul de clar în secolul XV că orientarea busolei nu este exact pe direcția polilor geografici Nord-Sud. Navigatorii și cartografii au învățat însă să folosească pentru orientare o corecție a direcției indicate de busole în raport cu direcția polilor geografici pe care au numit-o declinație.

În 1600 W. M. Gilbert a publicat o carte numită “De Magnete” în care concluzionează că Pământul este în fapt un mare magnet. În secolul XVIII s-a ajuns la concluzia că există o modificare periodică a câmpului magnetic al Pământului atât ca orientare cât și ca intensitate.

În perioada 1777-1851 C. Orsted descoperă cauza magnetismului, respectiv curentul electric. Cam în aceeași perioadă C. F. Gauss publică un model matematic realist care descrie câmpul magnetic terestru.

În perioada 1896-1903 K. Birkeland în urma observațiilor sistematice pe care le organizează descoperă impactul activității solare asupra câmpului magnetic, faptul că vântul solar ca flux de particule încărcate cu sarcină electrică determină furtunile magnetice și luminile polare – efectele luminoase numite aurore polare. Aceste fenomene sunt dominante în atmosfera superioară, radiația corpusculară provenită de la Soare (electroni, protoni, particule  $\alpha$ ) fiind deflectată de câmpul magnetic al Pământului.

În anul 1831 este atins Polul Nord magnetic prin expediția “Victory” a lui J. C. Ross. Au urmat mai multe expediții cu scopul atingerii polilor magnetici. Începând cu 1948 polii magnetici ai Pământului sunt observați sistematic. De la prima localizare a polilor magnetici în urmă cu 150 de ani s-a constatat o deplasare a lor de aproximativ 900 km, aceștia modificându-și poziția an de an. Nu numai poziția polilor se modifică ci și intensitatea câmpului magnetic. Polii magnetici se consideră că au suferit interschimbări de mai multe ori în ultimii 4-5 milioane de ani.

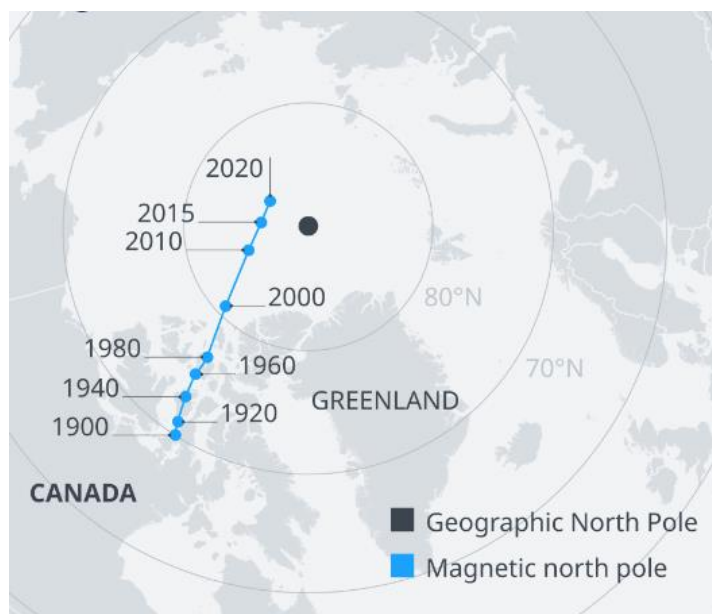


Fig. 12.2 Modificarea poziției polului nord magnetic [sursa: World data Center for Geomagnetism][12]



În perioadele de scădere a intensității câmpului magnetic radiația cosmică de mare energie care a pătruns în atmosferă a avut fără îndoială un efect asupra vieții pe Pământ. Radiația cosmică formată din particule încărcate cu sarcină electrică (electroni, protoni, particule  $\alpha$ ) provenite în mare măsură de la Soare este prinsă de câmpul magnetic al Pământului ca într-un fel de capcană formând centurile de radiații Van Allen. Acestea sunt niște zone spațiale de forma unor elipsoizi (Fig.12.3) în care particulele cu sarcină au traiectorii elicoidale fiind oprite de a atinge Pământul. În mare măsură centura interioară este formată protoni și se întinde între 1000 și 3000 km deasupra suprafeței Pământului. Centura exterioară este formată în majoritate din electroni și ocupă o zonă spațială cuprinsă în 3 și 4 raze terestre în raport cu centrul Pământului.[13]

Care este explicația magnetismului terestru? Miezul Pământului conține cantități mari de Fe, dar temperaturile din interior sunt mai mari de  $770^{\circ}$ , temperatura Curie a Fe, astfel că nu ar trebuie să avem totuși efecte magnetice. Teoriile actuale explică magnetismul Pământului prin circulația curenților de lavă cu conținut mare de Fe ca un fel de curenți de convecție, distribuția lor fiind permanent modificată de mișcarea Pământului printr-un efect de dinam. Prin comparație, planeta Venus care la rândul său are un miez de Fe, nu are câmp magnetic. Lipsa acestuia este pusă pe seama vitezei de rotație mult mai mici, perioada de rotație a planetei Venus fiind de 243 zile terestre, una foarte mare. Valoarea inducției câmpului magnetic pe diferite planete ale sistemului nostru solar este prezentată mai jos pentru comparație.

Planeta	Raza (km)	$B_{suprafață}$ (nT)
Mercur	2489	195
Venus	6051	-
Pământ	6373	30 600
Marte	3390	-
Jupiter	71398	430 000
Saturn	60330	21 400
Uranus	25559	22 800
Neptun	24764	13 200
Pluto	1153	Nu se știe

Tabelul 12.1 Câmpul magnetic al planetelor din Sistemul nostru Solar.

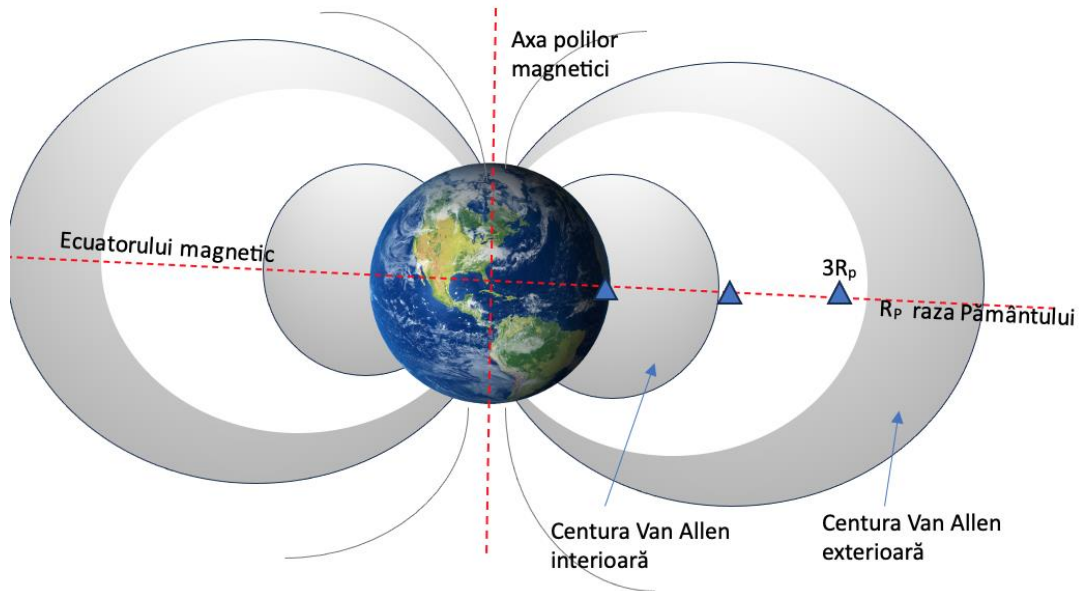


Fig. 12.3 Centurile de radiații Van Allen

### Câmpul magnetic produs de curentul electric prin N spire conductoare

Considerându-se N spire conductoare (Fig. 12.4) parcurse de curentul I, aflate în aer

( $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2$ ) inducția câmpului magnetic calculată cu legea lui Biot-Savart în centrul spirelor este:

$$B_0 = \mu_0 \frac{NI}{2R} \quad (12.1)$$

Iar la distanța x de centrul spirelor pe axa Ox a acestora este:

$$B_x = \frac{B_0}{\left(1 + \frac{x^2}{R^2}\right)^{3/2}} \quad (12.2)$$

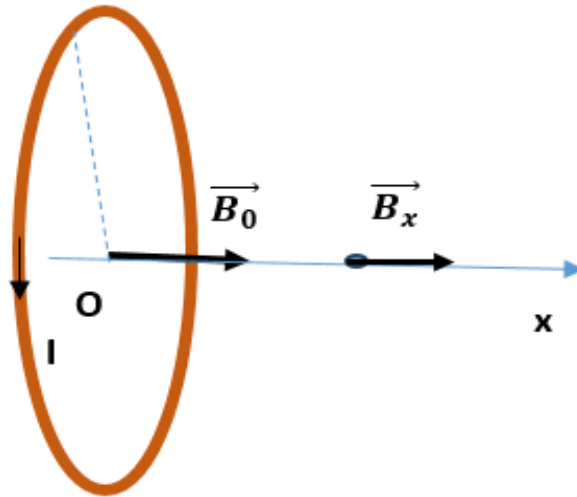


Fig. 12.4 N spire conductoare parcurse de curent

### Componentele câmpului magnetic terestru

Inducția câmpului magnetic terestru  $\vec{B}$  este o mărime vectorială care este poate fi exprimată într-un punct din spațiu în mai multe forme. O posibilitate ar fi prin cele trei componente carteziene ( $B_x, B_y, B_z$ ) unde  $B_x$  ar fi pe direcția nordului geografic,  $B_y$  pe direcția Est,  $B_z$  pe verticală. Alternativ prin componentele polare ( $B, D, I$ ) unde  $B$  este modulul vectorului inducție a câmpului magnetic,  $D$  este declinația respectiv unghiul format de componenta orizontală a inducției câmpului magnetic cu direcția polilor geografici,  $I$  este înclinația, respectiv unghiul format de  $\vec{B}$  cu componenta orizontală  $\vec{H}$ .

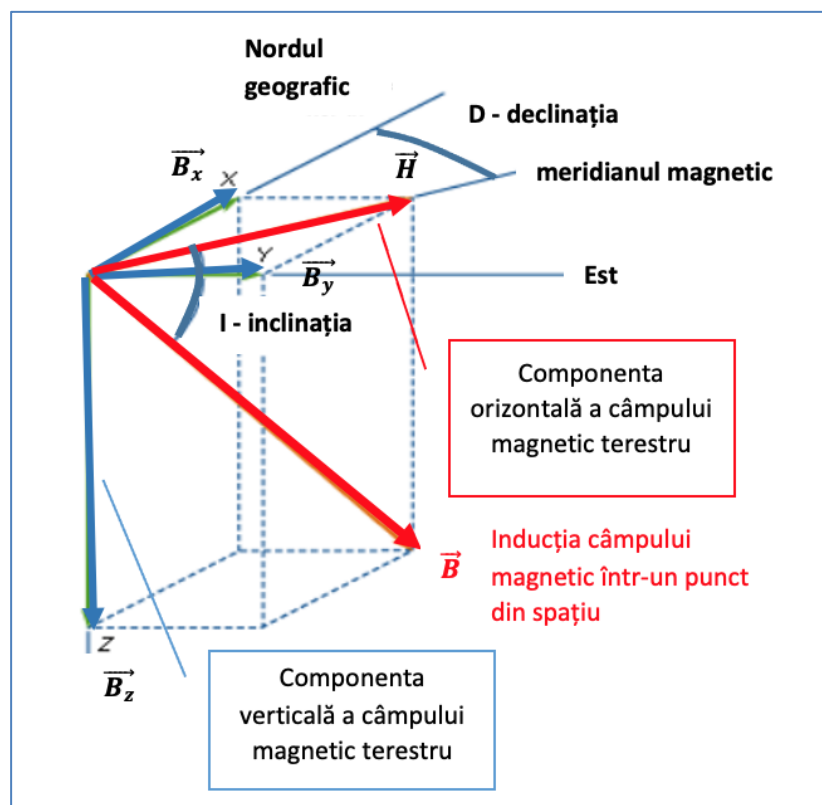


Fig. 12.5 Componentele vectorului inducție a câmpului magnetic terestru

## Cum se determină componenta orizontală a câmpului magnetic local

Se poate determina componenta orizontală a câmpului magnetic local dacă se utilizează un sistem format din spire circulare și un ac magnetic sau o busolă. Se aliniază busola cu liniile de câmp magnetic local și se așează sistemul de spire circulare pe aceeași direcție în plan vertical astfel încât inducția magnetică în centrul spirelor să fie perpendiculară pe direcția acului busolei (implicit pe direcția N-S a polilor magnetici).

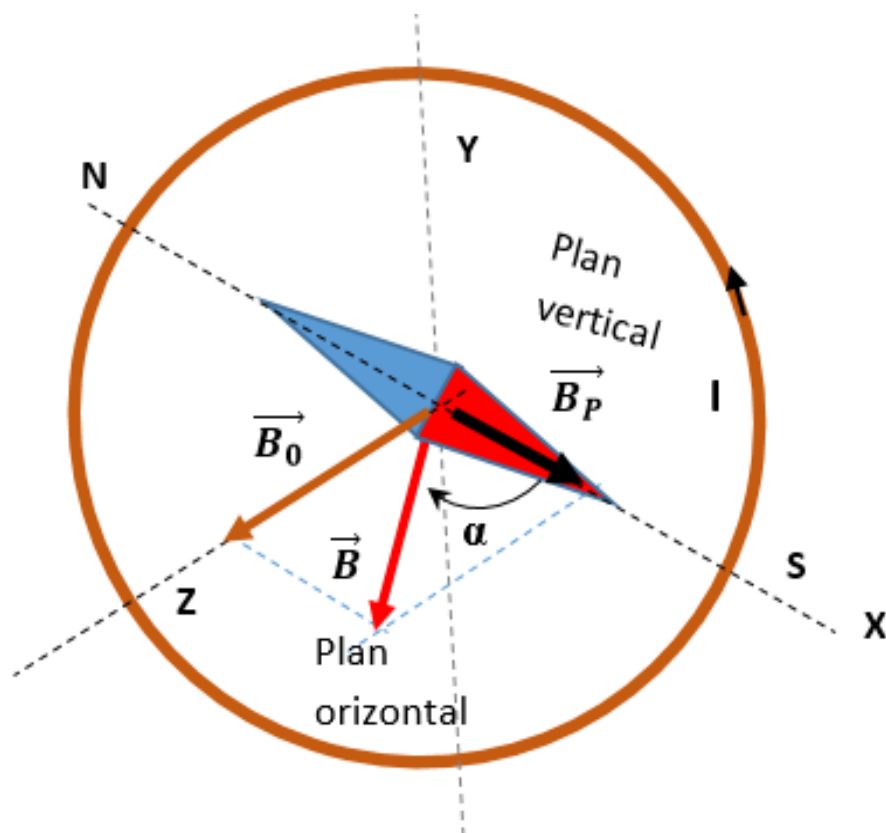


Fig. 12.5 Modul de determinare al componentei orizontale a câmpului magnetic local

În acest caz vectorul inducție a câmpului magnetic generat de sistemul de spire  $\vec{B}_0$  va fi perpendicular pe componenta orizontală a inducției magnetice a Pământului  $\vec{B}_p$ . Acul unei busole așezate în centrul spirei se va orienta după direcția vectorului rezultat  $\vec{B}$ .

Se va calcula :

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{B_0}{B_p} \quad (12.3)$$

Rezultă

$$B_p = \operatorname{tg} \alpha B_{S0} \quad (12.4)$$

Aceasta rămâne constantă chiar dacă se variază intensitatea curentului prin spirală și deci se modifică componenta câmpului magnetic generat de spirală  $B_0$ . Se va modifica unghiul  $\alpha$ .

## 12.3 Cerințe

### A. Experimentul 1

#### Determinarea componentei orizontale a câmpului magnetic terestru local

Se vor utiliza următoarele elemente :

- Busolă
- Sistem de spire circulare
- Generator electric
- Fire conductoare
- Ampermetru

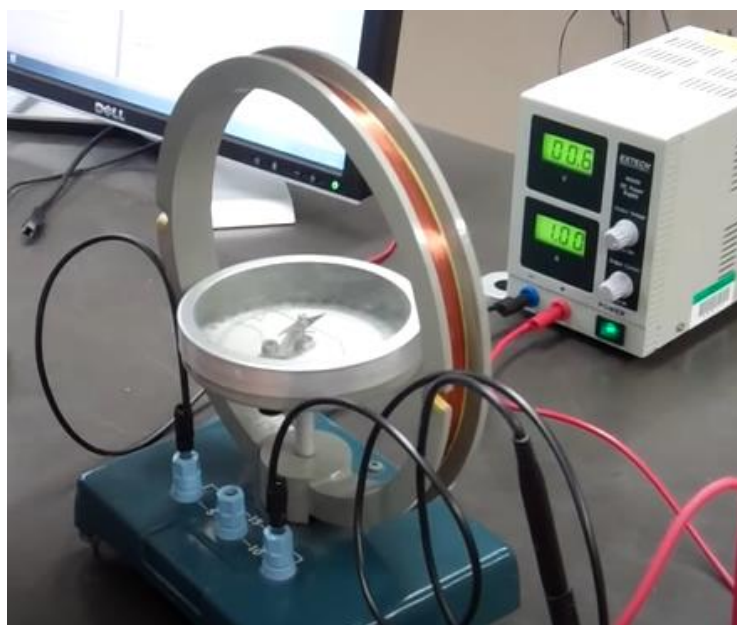


Fig.12.6 Dispozitiv experimental

#### Modul de lucru

- Se așează sistemul de spire circulare pe direcția polilor N-S, adică pe aceeași direcție cu componenta orizontală a inducției magnetice a câmpului magnetic local al Pământului.
- Este stabilit un curent electric prin spirele conductoare și se măsoară intensitatea curentului electric. Se măsoară unghiul sub care deviază acul busolei (care se va așeza după direcția câmpului magnetic rezultat).
- Se modifică intensitatea curentului electric prin spiră ceea ce va determina modificarea corespunzătoare a inducția câmpului magnetic generat de spiră. Câmpul magnetic terestru rămâne în schimb nemodificat pe timpul scurt al experimentului. Se va modifica însă orientarea inducției câmpului magnetic rezultat  $\vec{B}$ . Se notează noile valori ale unghiului de deviație.

**Pe cazul experimentului efectuat se vor considera:**

$R = 6,75$  cm raza spirelor

$N = 320$  spire

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} N/A^2$

Pentru diferite valori ale intensității curentului prin spire unghiul de deviație al acului busolei este redat în tabelul de mai jos.

Nr	$I$ (mA)	$\theta$ (grade)	$tg\alpha$	$B_0$ (T)	$B_p$ (T)	$\overline{B_p}$ (T)
1	46.4	40				
2	8.8	45				
3	10	49				
4	11.2	52				
5	13.7	57				
6	14.6	59				
7	22.5	70				
8	30	75				
9	38.6	78				
10	46.4	80				

Tabelul 12.2 Date experimentale

1. Scrieți relația matematică pe baza căreia se calculează componenta orizontală a inducției câmpului magnetic local al Pământului.
2. Completați tabelul, calculând valoarea medie a componentei orizontale a inducției câmpului magnetic terestru determinată în acest experiment.
3. Trasați graficul  $B_{S0}$  funcție de  $tg(\theta)$ . Ce reprezintă panta graficului?

**B. Experimentul 2**

**Determinarea înclinației**

Pentru determinarea înclinației respectiv a unghiului dintre vectorul inducție a câmpului magnetic local și componenta sa orizontală (vezi Fig. 12.4) Se va utiliza o busolă verticală (Fig. 12.7).

Busola verticală se utilizează astfel:

- Se aliniază mai întâi busola după direcția componentei orizontale locale a câmpului magnetic al Pământului. (Fig. 12.7 a)
- Din poziția determinată mai sus se rotește busola în plan perpendicular. (Fig. 12.7 b)

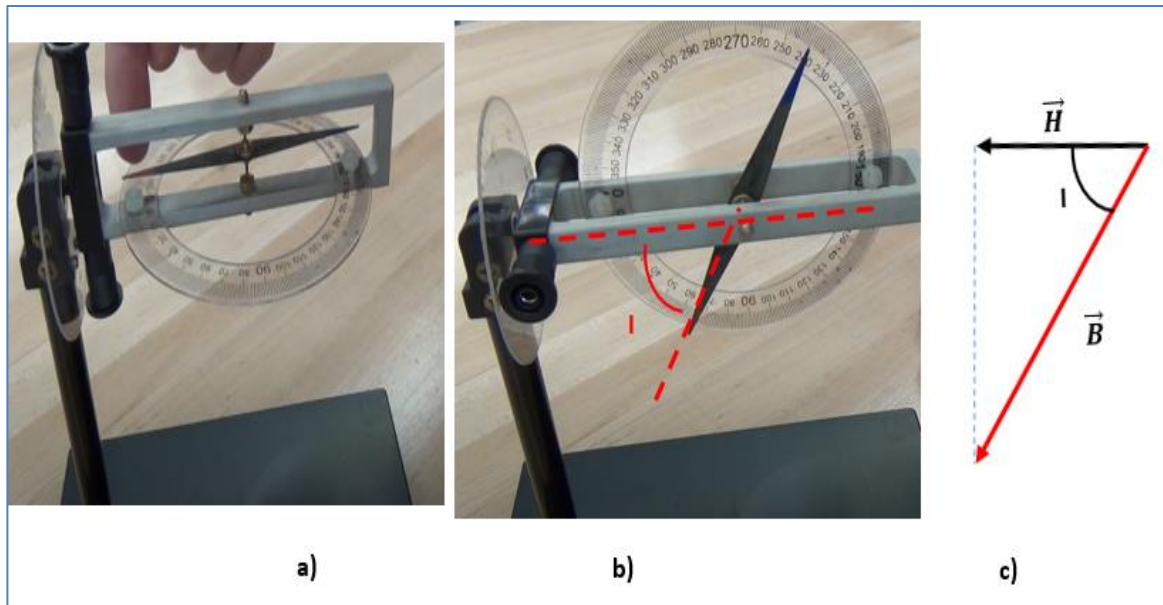


Fig. 12.7 Busolă verticală

Prin măsurarea unghiului de înclinație din Fig. 12.6 (c) se poate determina valoarea totală a inducției câmpului magnetic local dacă s-a determinat componenta orizontală ( vezi experimentul anterior).

$$\cos i = \frac{H}{B}$$

Se vor compara valorile măsurate cu cele furnizate de NOAA – National Centers for Environmental Information – GEOMAGNETISM. <https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/calculators/magcalc.shtml>





## Bibliografie

1. W. Lewin, Electricity and magnetism, MIT Course 8.02, 2013.
2. R. Feynman, Fizică Modernă, Electromagnetismul. Structura materiei, Ed. Tehnică București, 1970.
3. E.M. Purcell, Electricitate și magnetism, Cursul de Fizică Berkeley, EDP București, 1982.
4. Al Nicula, Gh. Cristea, S. Simon, Electricitate și Magnetism, Editura Didactică și Pedagogică, București 1982.
5. Gh. Cristea, I Ardelean, Elemente fundamentale de Fizică, Electricitate și magnetism, Ed. Dacia, Cluj-Napoca, 1985.
6. A diagram of a Van de Graff generator, Image credit: Dake, Wikipedia, Modified: Daniel Potter/TIARA
7. John R. Taylor , An introduction to error analysis , University Science Book , Sausalito , California, 1997.
8. R. A. Serway, J.W.Jewett, Physics for Scientists and Engineers, Eighth Edition, BROOKS/COLE Cengage Learning, 2010.
9. H.D. Young, R.A. Freedman, A. L. Ford, Sears and Zemansky's University Physics, Addison-Wesley, 2012
10. Multisim Live, Digilent an NI Company, <https://digilent.com/>
11. PHYWE Excellence in science, <https://www.phywe.com/>
12. CircuitLAB, Circuit simulation and schematics, <https://www.circuitlab.com/>
13. W. Lowrie, Fundamental of Geophysics, Cambridge University Press, 2007
14. World Data Center for Geomagnetism, <http://www.wdc.bgs.ac.uk/>
15. NOAA – National Centers for Environmental Information – GEOMAGNETISM.  
<https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/calculators/magcalc.shtml>



**UNIVERSITARIA**

**Tipar executat în  
Tipografia  
Universității Maritime din Constanța**



978-606-681-179-8