

**UNIVERSITATEA "POLITEHNICA" DIN BUCURESTI  
CATEDRA DE FIZICĂ**

**LABORATORUL ELECTRICITATE SI MAGNETISM**

**BN – 119**

**VERIFICAREA LEGII DE CONSERVARE A SARCINII.  
GRUPAREA CONDENSATOARELOR  
ÎN SERIE SI PARALEL**

**2007**

## VERIFICAREA LEGII DE CONSERVARE A SARCINII. GRUPAREA CONDENSATOARELOR ÎN SERIE SI PARALEL

**1. Scopul lucrării** constă în studiul modului în care sunt distribuite sarcinile electrice pe condensatoarele legate în serie și, respectiv, în paralel, verificându-se, de fiecare dată, legea de conservare a sarcinii electrice.

**2. Teoria lucrării.** Condensatorul este un dispozitiv alcătuit din două conductoare (numite armături), separate printr-un dielectric. Dacă între cele două conductoare se aplică o diferență de potențial, ele se încarcă cu sarcini egale și de semn contrar, astfel încât sarcina electrică totală este nulă. Intensitatea câmpului electric dintre cele două conductoare este proporțională cu mărimea sarcinii  $q$  de pe unul din conductoare. Capacitatea unui condensator se definește ca fiind raportul dintre sarcina  $q$  de pe unul din conductoare și diferența de potențial  $U$  dintre conductoare:

$$C = \frac{q}{U} \quad (1)$$

Din definiții capacității rezultă că unitatea de măsură pentru capacitate este coulombul pe volt (C/V), unitate numită farad (F). Deoarece coulombul și faradul sunt unități foarte mari, în practică se folosesc unități foarte mici (de exemplu  $\mu\text{C}$ , nF, ș.a.). Capacitatea este o mărime constantă, care depinde de geometria condensatorului (plan, cilindric, sferic, ș.a.), precum și de natura dielectricului dintre armături. Un tip de condensator foarte utilizat este condensatorul plan a cărui capacitate este dată de relația:

$$C = \varepsilon_r \varepsilon_0 \frac{S}{d} \quad (2)$$

unde  $\varepsilon_r$  este permitivitatea dielectrică relativă a izolatorului,  $\varepsilon_0$  este permitivitatea electrică a vidului,  $S$  este aria suprafeței unei armături și  $d$  este distanța dintre armături.

### **A. Legarea condensatoarelor în serie și în paralel.**

a) *Gruparea în serie.* Se consideră două condensatoare de capacitate  $C_1$  și  $C_2$  legate în serie, adică polul pozitiv al primului condensator este legat la polul negativ al următorului condensator. Condensatoarele sunt menținute la diferența de potențial  $U$  (fig. 1).

Pe armăturile condensatoarelor se acumulează sarcini având aceeași mărime.

$$q = q_1 = q_2 \quad (3)$$

Pentru a justifica această afirmație, vom presupune că armătura negativă a condensatorului  $C_1$  are o sarcină diferită ca mărime de sarcina de pe armătura pozitivă a condensatorului  $C_2$ . În acest caz sarcina totală a fiecărui condensator nu va mai fi nulă, câmpul electric rezultat determinând apariția unui curent prin conductorul care leagă cele două armături, curent care va exista până la dispariția câmpului (adică până când sarcina totală a fiecărui condensator va fi iarăși nulă).

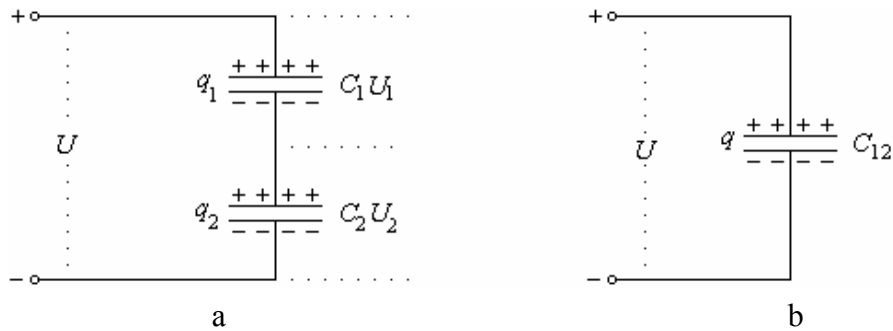


Fig. 1. Legarea condensatoarelor în serie

Diferențele de potențial pe cele două condensatoare,  $U_1$  și  $U_2$ , vor fi diferite, astfel încât  $U=U_1+U_2$ . Dar,  $U_1 = \frac{q}{C_1}$ ,  $U_2 = \frac{q}{C_2}$ , iar  $U = \frac{q}{C}$  astfel că,

$$\frac{q}{C} = \frac{q}{C_1} + \frac{q}{C_2},$$

iar capacitatea echivalentă a două condensatoare legate în serie este:

$$\frac{1}{C_{12}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \quad (4)$$

b) *Gruparea în paralel.* Se consideră două condensatoare  $C_1^1$  și  $C_2^1$  legate în paralel, aflate sub diferența de potențial  $U$ , ca în fig.2. Diferența de potențial la capetele fiecărui condensator este aceeași, și egală cu  $U$ , dar sarcinile sunt diferite.

$$q_1 = C_1^1 U; \quad q_2 = C_2^1 U \quad (5)$$

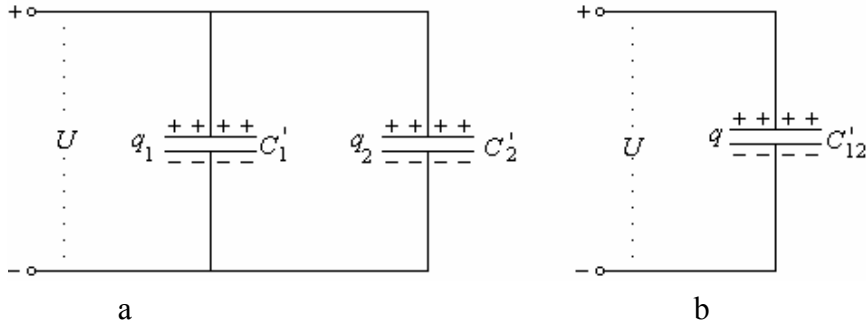


Fig.2. Legarea condensatoarelor în paralel

Sarcina totală furnizată grupării de către sursă este

$$q = q_1 + q_2 = (C'_1 + C'_2)U = C'_{12}U, \quad (6)$$

unde  $C'_{12}$  reprezintă capacitatea echivalentă a grupării în paralel, care conform relației (6) este egală cu:

$$C'_{12} = C'_1 + C'_2 \quad (7)$$

Pentru verificarea legii de conservare a sarcinii, vom considera următoarea problemă: un condensator cu capacitate  $C'_1$  este încărcat sub o diferență de potențial  $U_0$ , iar după deconectarea de la sursa, este legat în paralel cu un condensator de capacitate  $C'_2$ , neîncărcat electric, ca în fig. 3.

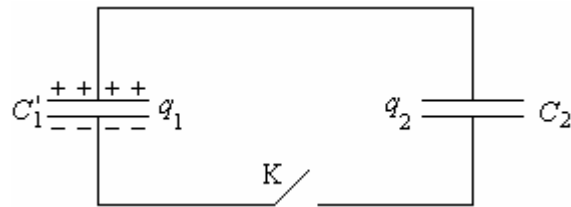


Fig. 3. Legarea celor două condensatoare

Vrem să calculăm sarcinile electrice cu care se încarcă cele două condensatoare.

După închiderea comutatorului K, sarcina pozitivă de mărime

$$q_1 = C'_1 U_0 \quad (8)$$

se distribuie pe plăcile superioare, iar sarcina negativă  $-q_1$  se distribuie pe plăcile inferioare. Notă cu  $q_1^1$  și  $q_2^1$  sarcinile finale de pe armăturile celor două condensatoare. Conform legii de conservare a sarcinii,

$$q_1 = q_1' + q_2'. \quad (9)$$

Pe de altă parte, diferența de potențial la bornele celor două condensatoare fiind aceeași, rezultă:

$$q_1' = C_1'U \text{ și } q_2' = C_2'U \quad (10)$$

Din relațiile (9) și (10) se obțin expresiile sarcinilor electrice finale de pe armăturile celor doi condensatori.

$$q_1' = \frac{C_1'}{C_1' + C_2'} C_1' U_0 \text{ și } q_2' = \frac{C_2'}{C_1' + C_2'} C_2' U_0. \quad (11)$$

### **B. Măsurarea sarcinii electrice cu galvanometrul**

Galvanometrul este un instrument utilizat de regulă pentru măsurarea curenților electrici mici (de ordinul a  $10^{-6}$ A). În anumite condiții el poate fi utilizat pentru a măsura sarcina electrică. Principiul de funcționare al galvanometrului se bazează pe interacția dintre curentul electric și câmpul magnetic. Schema simplificată de construcție a unui galvanometru este prezentată în fig. 4.

Bobina parcursă de curentul electric de măsurat este montată astfel încât să se poată roti în jurul unui ax vertical într-un câmp magnetic radial, uniform creat de un magnet permanent. Arcul spiral produce un cuplu de forțe invers care va echilibra cuplul forțelor electromagnetice, pentru un anumit unghi de rotație  $\alpha$  de echilibru, ce corespunde unui curent  $I$  prin bobină.

Dacă se leagă cele două armături ale unui condensator încărcat la un galvanometru, condensatorul se va descărca făcând să circule un curent electric prin aparat. Acest curent are o durată prea scurtă pentru a fi măsurat direct, dar forța exercitată în timpul trecerii sale dă echipajului mobil un impuls care îl face să oscileze. Mărimea acestui impuls, și deci amplitudinea mișcării rezultate, nu depinde decât de sarcina electrică totală care va traversa galvanometrul. Rezultă că deviația maximă a echipajului mobil este direct proporțională cu sarcina electrică care îl traversează.

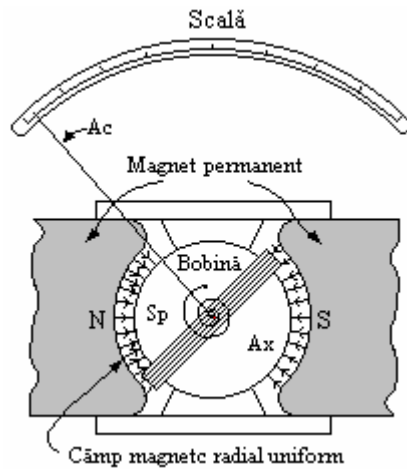


Fig. 4.

*Observație.* Trebuie menționat că există un instrument de măsurare directă a sarcinii electrice transportate de un curent cu durată scurtă, instrument numit *galvanometru balistic*. La construirea sa se folosesc bobine cu momente de inerție puțin mai mari și suspensii cu constante de torsiune puțin mai mici decât în cazul instrumentelor proiectate în primul rând pentru măsurarea curentului electric.

### 3. Dispozitivul experimental.

Dispozitivul experimental este alcătuit dintr-o sursă de tensiune continuă, un galvanometru, montajul cu condensatoare a cărui schemă este prezentată în fig. 5, și conductoare de legătură.

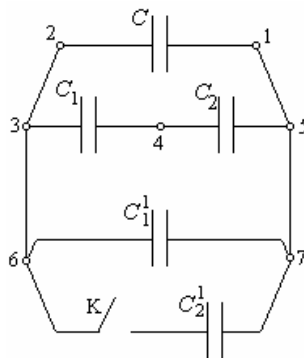


Fig. 5. Dispozitivul experimental

## 4. Modul de lucru

**a. Etalonarea galvanometrului.** Pentru etalonarea galvanometrului se conectează sursa de tensiune continuă de 0 – 7,5 V. Pentru aceasta se acționează potențiometrul din centrul panoului frontal al aparatului ( $U_p$ ). Becul aprins din stânga panoului indică regimul de funcționare, adică **generator de tensiune continuă**. Comutatorul prin intermediul căruia se stabilește utilizarea instrumentului de măsură al sursei ca voltmetru sau ampermetru trebuie să fie pe poziția 7,5V. Tensiunea electrică furnizată de sursă poate fi reglată utilizând potențiometrul din stânga panoului frontal al sursei ( $U$ ).

*Observație.* **Sursa intră în regim normal de funcționare după 15 minute de preîncălzire.**

Condensatorul cu capacitatea  $C = 1\mu\text{F}$  se încarcă la tensiunea electrică de 0,5V. Pentru aceasta folosiți două conductoare cu ajutorul cărora conectați armătura pozitivă a condensatorului (borna 1 din montaj) la borna + sursei, iar armătura negativă (borna 2) la borna – sursei. Operația se realizează după stabilizarea tensiunii de 0,5V furnizate de sursă.

În continuare, deconectați condensatorul  $C$  de la sursă și apoi descărcați-l prin galvanometru. Notați deviația maximă (diviziuni) a acului indicator al galvanometrului. Deoarece timpul de descărcare este foarte mic, repetați experiența de câteva ori pentru a putea nota diviziunea corectă.

**Atenție! Galvanometrul este un instrument foarte sensibil. Acesta nu trebuie în nici un caz legat direct la sursa de tensiune electrică.**

Repetăți experiența folosind același condensator, pe care îl încărcați succesiv la tensiunile: 1V; 1,5V; 2V; 2,5V; 3V; 3,5V; 4V. Rezultatele le treceți într-un tabel ca cel de mai jos.

Reprezentați grafic curba de etalonare a galvanometrului  $q = mx$ , unde  $m$  este panta. Această pantă reprezintă inversul sensibilității galvanometrului, exprimată în ( $\mu\text{C}/\text{div}$ ). Calculați panta  $m$  care va fi folosită în cele ce urmează pentru determinarea sarcinii electrice.

Tensiunea de încărcare a condensatorului $U(V)$	Deviația maximă, $x(\text{div})$	Sarcina electrică calculată, $q(\mu C)$
0,5		
1		
1,5		
2		
2,5		
3		
3,5		
4		

### b. Gruparea condensatoarelor în serie

Pentru a verifica modul în care este distribuită sarcina electrică pe condensatoarele  $C_1$  și  $C_2$  prin legarea acestora în serie, încărcăți gruparea la tensiunea  $U = 1V$  (borna 5 din montaj la plusul sursei și borna 3 la minusul acesteia). Deconectați de la sursă gruparea de condensatoare, descărcați separat condensatoarele pe galvanometru și măsurați deviațiile maxime  $x_1$  și  $x_2$  observate. Reîncărcați gruparea de condensatoare la aceeași tensiune electrică și descărcați-l pe galvanometru, măsurând deviația maximă  $x_{12}$  a acului acestuia.

Repețați experiența pentru tensiunile electrice de 2V și respectiv 3V. Datele obținute le treceți într-un tabel de forma celui de mai jos:

$U(V)$	$x_1(\text{div})$	$x_2(\text{div})$	$x_{12}(\text{div})$	$q_{1,\text{măs}}(\mu C)$	$q_{2,\text{măs}}(\mu C)$	$C_{12,\text{măs}}(\mu F)$	$C_{12,\text{calc}}(\mu F)$
1							
2							
3							

Comparați valorile măsurate ale sarcinilor electrice de pe condensatorii grupați în serie și verificați relația (3). Calculați eroarea făcută.

Comparați valoarea măsurată cu cea calculată cu relația (4) a capacității grupării de condensatoare legată în serie. Calculați eroarea făcută.



### c. Gruparea condensatoarelor în paralel

**c1.** Legați condensatoarele  $C'_1$  și  $C'_2$  în paralel. Încărcați gruparea la tensiunea electrică  $U = 1V$  (borna 7 din montaj la borna + a sursei și borna 6 din montaj la borna – a sursei, comutatorul fiind în poziția „închis” (B)).

Deconectați gruparea de condensatoare de la sursă și măsurați deviația maximă  $x_{12}$  a acului galvanometrului, corespunzătoare sarcinii electrice  $q_{12,măs}$ .

Comparați valoarea măsurată a sarcinii electrice cu cea calculată,  $q_{12,calc} = C'_{12,calc} U$ , unde  $C'_{12,calc}$  se calculează cu relația (7).

Treceți rezultatele într-un tabel de forma:

$x_{12}$ (div)	$q_{12,măs}$ ( $\mu C$ )	$q_{12,calc}$ ( $\mu C$ )

**c2.** Încărcați condensatorul  $C'_1$  la tensiunea  $U_0 = 1 V$  (borna 7 din montaj la borna + a sursei, iar borna 6 la borna – a sursei, comutatorul fiind pe poziția „deschis” (A)). Apoi deconectați condensatorul de la sursă și descărcați-l prin galvanometru și măsurați deviația maximă  $x_1$  corespunzătoare sarcinii  $q_{1,măs}$ .

Repețiți operația de încărcare a condensatorului  $C'_1$  la aceeași tensiune electrică și deconectați de la sursă. Pentru ca sarcina electrică aflată inițial pe condensatorul  $C'_1$  să se distribuie și pe condensatorul  $C'_2$  închideți comutatorul K. Apoi deschideți comutatorul K pentru a măsura sarcina  $q'_1$  rămasă pe condensatorul  $C'_1$  după conectarea sa în paralel cu condensatorul  $C'_2$ .

Descărcați condensatorul  $C'_1$  prin galvanometru și notați deviația maximă  $x'_1$  observată. Păstrând firele de legătură în aceeași poziție închideți comutatorul K (poziția B). Deviația maximă  $x'_2$  măsurată în acest caz este proporțională cu sarcina  $q'_2$  cu care s-a încărcat condensatorul  $C'_2$  prin legarea în paralel cu  $C'_1$ .

Verificați legea de conservare a sarcinii electrice  $q_{1,măs} = q'_{1,măs} + q'_{2,măs}$ .

Comparați rezultatele experimentale cu cele teoretice, calculând mărimile  $q_{1,calc}$ ,  $q'_{1,calc}$ ,  $q'_{2,calc}$  cu relațiile (8) și (11).

Treceți valorile obținute într-un tabel ca cel de mai jos:

$x_1$ (div)	$x'_1$ (div)	$x'_2$ (div)	$q_{1,m\grave{a}s}$ ( $\mu C$ )	$q'_{1,m\grave{a}s}$ ( $\mu C$ )	$q'_{2,m\grave{a}s}$ ( $\mu C$ )	$q_{1,calc}$ ( $\mu C$ )	$q'_{1,calc}$ ( $\mu C$ )	$q'_{2,calc}$ ( $\mu C$ )

Valorile capacităților condensatorilor folosiți sunt:

$C = 1 \mu F$ ;  $C_1 = 2,2 \mu F$ ;  $C_2 = 0,68 \mu F$ ;  $C'_1 = 2,2 \mu F$ ;  $C'_2 = 1 \mu F$ .