

# GRUPAREA CONDENSATOARELOR ÎN SERIE ȘI PARALEL

## 1. Scopul lucrării

- analiza distribuției sarcinilor electrice pe condensatoare legate în serie și, respectiv, în paralel;
- verificarea legii de conservare a sarcinii electrice;
- determinarea capacităților echivalente pentru grupări de condensatoare.

## 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 definiția 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 submultipli ai acestora (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:

$$C = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{S}{d} \quad (2)$$

unde  $\epsilon_r$  este permitivitatea dielectrică relativă a izolatorului,  $\epsilon_0$  este permitivitatea electrică a vidului,  $S$  este aria suprafeței unei armături și  $d$  este distanța dintre armături.

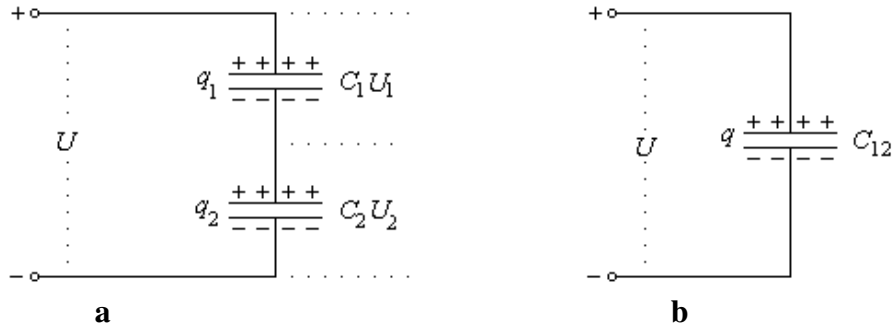
### 2.1. Gruparea condensatoarelor în serie

Se consideră două condensatoare de capacitate  $C_1$  și  $C_2$  legate în serie ca în figura 1a.

Pentru această configurație, sarcinile de pe cei 2 condensatori sunt egale:

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

În caz contrar, prin circuit se va produce un curent ce deplasează sarcinile de pe un condensator pe altul până la echilibrare.



**Figura 1: Legarea condensatoarelor în serie**

Notând cu  $U_1$  și  $U_2$  tensiunile pe cele 2 condensatoare presupuse plane și cu  $C_1$ ,  $C_2$  capacitățile acestora, conform ec. (1) sunt valabile relațiile:

$$U_1 = \frac{q}{C_1}, U_2 = \frac{q}{C_2}, \quad (4)$$

iar tensiunea la bornele grupării este  $U=U_1+U_2$  (5)

În figura 1b se consideră circuitul echivalent celui din figura 1a reprezentat de un condensator plan de capacitate  $C_{12}$  încărcat cu o sarcină  $q$  și aflat la tensiunea  $U$  ca și gruparea serie. Astfel:

$$U = \frac{q}{C_{12}} \quad (6)$$

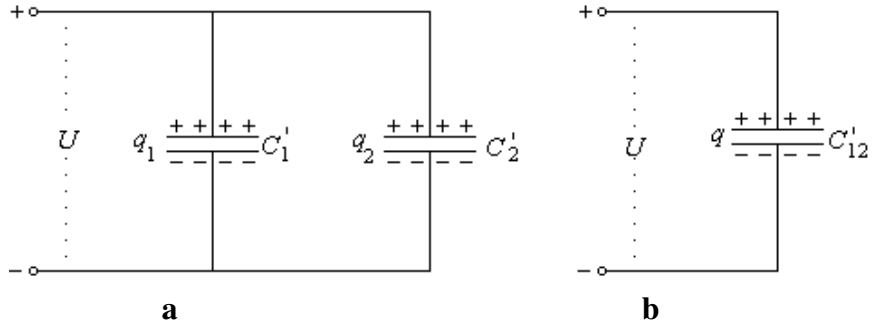
Înlocuind ecuațiile (6) și (4) în (5) se obține pentru capacitatea echivalentă a două condensatoare legate în serie expresia:

$$\frac{1}{C_{12}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \quad (7)$$

## 2.2 Gruparea condensatoarelor în paralel

Se consideră două condensatoare  $C_1$  și  $C_2$  legate în paralel, aflate sub diferența de potențial  $U$ , ca în figura 2a. Diferența de potențial la capetele fiecărui condensator este aceeași, și egală cu  $U$ , dar sarcinile sunt diferite.

$$q_1 = C_1 U; \quad q_2 = C_2 U \quad (8)$$



**Figura 2:** Legarea condensatoarelor în paralel

Sarcina totală furnizată grupării de către sursă este

$$q = q_1 + q_2 = (C_1' + C_2')U = C_{12}'U, \quad (9)$$

unde  $C_{12}'$  reprezintă capacitatea echivalentă a grupării în paralel, care conform relației (9) este egală cu:

$$C_{12}' = C_1' + C_2' \quad (10)$$

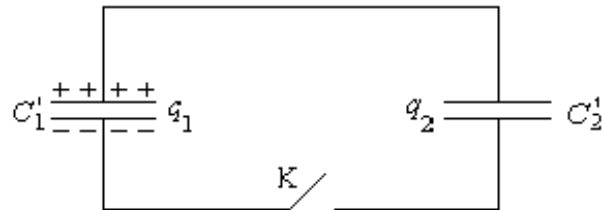
### 2.3. Legea de conservare a sarcinii electrice

Legea conservării sarcinii electrice afirmă că, într-un sistem izolat, sarcina electrică totală se conservă.

Fie un condensator cu capacitate  $C_1'$  încărcat inițial la o diferență de potențial  $U_0$  cu o sarcină

$$q_1 = C_1'U_0 \quad (11)$$

Acesta este legat în paralel cu un condensator de capacitate  $C_2'$ , ca în figura 3.



**Figura 3:** Legarea celor două condensatoare,  $K$ - întrerupător

În starea inițială, comutatorul  $K$  este deschis,  $C_1'$  va fi încărcat cu sarcina electrică  $q_1$ , iar  $C_2'$  va fi neîncărcat având  $q_2=0$ .

După închiderea comutatorului K, sarcina electrică se redistribuie între cei 2 doi condensatori. Notând cu  $q_1^1$  și  $q_2^1$  sarcinile finale de pe armăturile celor două condensatoare, conform legii de conservare a sarcinii electrice pentru sistemul de 2 condensatori vom avea:

$$q_1 = q_1' + q_2' \quad (12)$$

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

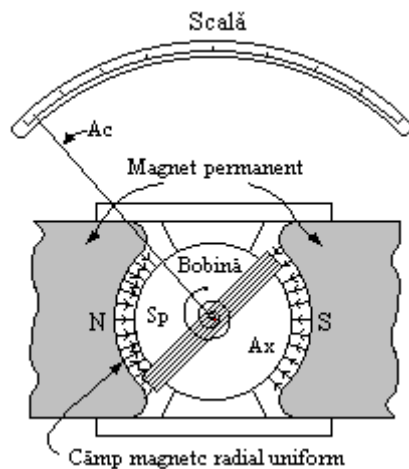
$$q_1' = C_1'U \text{ și } q_2' = C_2'U \quad (13)$$

Din relațiile (12) și (13) se obțin expresiile sarcinilor electrice finale de pe armăturile celor doi condensatori.

$$q_1' = \frac{C_1'}{C_1' + C_2'} C_1' U_0 \text{ și } q_2' = \frac{C_2'}{C_1' + C_2'} C_2' U_0 \quad (14)$$

## 2.4. Măsurarea sarcinii electrice cu galvanometrul

Galvanometrul este un instrument utilizat de regulă pentru măsurarea curenților electrice 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 figura 4.



**Figura 4:** Schema de funcționare a unui galvanometru

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

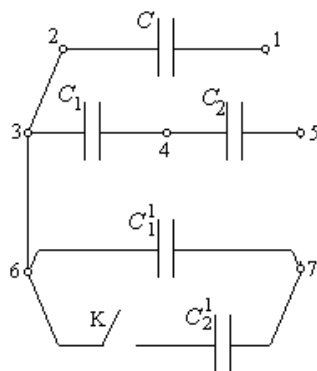
permanent. Arcul spiral produce un cuplu de forțe invers care va echilibra cuplul forțelor electromagnetice, pentru un anumit unghi de rotație  $\alpha$  de echilibru, ce corespunde unui curent  $I$  prin bobină.

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.

*Observație.* Trebuie menționat că există un instrument de măsurare directă a sarcinii electrice transportate de un curent cu durata 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 cărei schemă este prezentată în figura 5, și conductoare de legătură.



**Figura 5:** Schema dispozitivului experimental:  $C$ -condensator de etalonare de  $1\mu F$ ;  $C_1, C_2$  - gruparea serie;  $C_1', C_2'$  - gruparea paralel

## 4. Modul de lucru

### 4.1. Etalonarea galvanometrului.

1. Fixați o valoare de tensiune pe generatorul de tensiune în acord cu valorile din tabelul 1.
2. Încărcați condensatorul cu capacitatea  $C = 1\mu\text{F}$  aflat pe linia 1-2 din schemă la tensiunea electrică fixată. 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. Pentru fiecare încărcare așteptați 10s.
3. Deconectați condensatorul  $C$  de la sursă și apoi descărcați-l prin galvanometru.
4. Notați în tabelul 1 valoarea deviației maxime (exprimată în diviziuni) a acului indicator al galvanometrului. Deoarece timpul de descărcare este foarte mic, repetați experiența de câteva ori pentru a putea nota diviziunea corectă.
5. Repetați pașii 1-4 pentru toate valorile din tabelul 1.
6. Calculați valorile corespunzătoare sarcinii electrice de pe condensator folosind relația (1).

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

Tensiunea de încărcare a condensatorului $U(\text{V})$	Deviația maximă, $x(\text{div})$	Sarcina electrică calculată, $q(\mu\text{C})$
1		
3		
5		
7		
9		
11		
13		
15		

Reprezentați grafic curba de etalonare a galvanometrului dată de relația:

$$q = mx, \quad (15)$$

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.

## 4.2. Gruparea condensatoarelor în serie

### A. Verificarea legii de conservare a sarcinii

1. Folosiți gruparea serie de condensatori  $C_1, C_2$  de pe linia 3-4-5 a schemei electrice.
2. Încărcați gruparea la tensiunea  $U = 10\text{ V}$  (borna 5 din montaj la plusul sursei și borna 3 la minusul acesteia).
3. Deconectați de la sursă gruparea de condensatoare, descărcați separat condensatoarele pe galvanometru și măsurați deviațiile maxime  $x_1$  și  $x_2$  observate.
4. Reîncărcați gruparea de condensatoare la aceeași tensiune electrică și descărcați-o pe galvanometru, măsurând deviația maximă  $x_{12}$  a acului acestuia.
5. Repetați pașii 1-4 pentru toate valorile de tensiune din tabelul 2 și completați-l.

**Tabelul 2:** Verificarea legii de conservare a sarcinii pentru gruparea serie de condensatori

U(V)	$x_1(\text{div})$	$x_2(\text{div})$	$x_{12}(\text{div})$	$q_{1\text{măs}}(\mu\text{C})$	$q_{2\text{măs}}(\mu\text{C})$	$q_{12\text{măs}}(\mu\text{C})$
10						
13						
15						

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

### B. Verificarea expresiei capacității echivalente

1. Folosiți gruparea serie de condensatori  $C_1, C_2$  de pe linia 3-4-5 a schemei electrice.
2. Încărcați gruparea la tensiunea  $U = 4\text{ V}$  (borna 5 din montaj la plusul sursei și borna 3 la minusul acesteia).
3. Deconectați de la sursă gruparea de condensatoare și descărcați-o pe galvanometru măsurând deviația maximă  $x_{12}$  a acului acestuia.
4. Încărcați fiecare condensator în parte la aceeași tensiune electrică și descărcați-l pe galvanometru, măsurând deviațiile maxime  $x_1$ , respectiv  $x_2$  observate.
5. Repetați pașii 1-4 pentru toate valorile de tensiune din tabelul 3 și completați-l.

6. Folosiți relațiile (4), (6) și (15) pentru a calcula capacitățile și a completa tabelul 3.

**Tabelul 3:** Verificarea relației (7) pentru gruparea condensatoarelor în serie

U(V)	$x_1(\text{div})$	$x_2(\text{div})$	$x_{12}(\text{div})$	$C_{1\text{măs}}(\mu\text{F})$	$C_{2\text{măs}}(\mu\text{F})$	$C_{12\text{măs}}(\mu\text{F})$	$C_{12\text{calc}}(\mu\text{F})$
4							
6							
8							

7. Comparați valoarea măsurată cu cea calculată cu relația (7) a capacității grupării de condensatoare legate în serie. Calculați eroarea făcută.

### 4.3. Gruparea condensatoarelor în paralel

#### A. Verificarea legii de conservare a sarcinii

1. Folosiți gruparea paralel de condensatori  $C'_1$  și  $C'_2$  de pe linia 6-7 a schemei electrice.

2. Încărcați gruparea la tensiunea electrică  $U = 2\text{V}$  (borna 7 din montaj la borna + a sursei și borna 6 din montaj la borna – a sursei, comutatorul fiind în poziția „închis” (B));

3. Deconectați de la sursă gruparea de condensatoare, treceți comutatorul pe poziția (A) "deschis" și descărcați pe galvanometru condensatorul  $C'_1$  măsurând deviația maximă corespunzătoare,  $x_1$ .

4. Treceți apoi comutatorul K pe poziția „închis” (B) și descărcați pe galvanometru condensatorul  $C'_2$ , măsurând deviația maximă  $x_2$ .

4. Reîncărcați gruparea de condensatoare la aceeași tensiune electrică și descărcați-o pe galvanometru, măsurând deviația maximă  $x_{12}$  a acului acestuia.

5. Repetați pașii 1-4 pentru toate valorile de tensiune din tabelul 4 și completați-l.

6. Folosind relația (15) se determină sarcinile corespunzătoare și se verifică relația (12).

**Tabelul 4:** Verificarea legii de conservare a sarcinii pentru gruparea paralel de condensatori

U(V)	$x_1(\text{div})$	$x_2(\text{div})$	$x_{12}(\text{div})$	$q_{1\text{măs}}(\mu\text{C})$	$q_{2\text{măs}}(\mu\text{C})$	$q_{12\text{măs}}(\mu\text{C})$
2						
4						
6						



### B. Verificarea expresiei capacității echivalente

1. Folosiți gruparea paralel de condensatori  $C'_1$  și  $C'_2$  de pe linia 6-7 a schemei electrice.
2. Încărcați gruparea la tensiunea electrică  $U = 2V$  (borna 7 din montaj la borna + a sursei și borna 6 din montaj la borna – a sursei, comutatorul fiind în poziția „închis” (B));
3. Deconectați de la sursă gruparea de condensatoare, treceți comutatorul pe poziția (A) "deschis" și descărcați pe galvanometru condensatorul  $C'_1$  măsurând deviația maximă corespunzătoare,  $x_1$ .
4. Reîncărcați gruparea de condensatoare la aceeași tensiune electrică și descărcați-o pe galvanometru, măsurând deviația maximă  $x_{12}$  a acului acestuia.
5. Repetați pașii 1-4 pentru toate valorile de tensiune din tabelul 4 și completați-l.;
6. Folosiți relațiile (15), (4), (6) și (10) pentru a determina capacitatea condensatorului  $C'_2$ .

**Tabelul 5:** Verificarea relației (10) pentru gruparea condensatoarelor în paralel

U(V)	$x_1(\text{div})$	$x_{12}(\text{div})$	$C'_{1\text{măs}}(\mu\text{F})$	$C'_{12\text{măs}}(\mu\text{F})$	$C'_{2\text{calc}}(\mu\text{F})$
2					
4					
6					

7. Comparați rezultatul obținut cu valoarea de catalog a condensatorului dată în finalul referatului.

Valorile capacităților condensatorilor folosiți sunt:  
 $C = 1 \mu\text{F}$ ;  $C_1 = 2 \mu\text{F}$ ;  $C_2 = 0,68 \mu\text{F}$ ;  $C'_1 = 2,2 \mu\text{F}$ ;  $C'_2 = 1 \mu\text{F}$ .