

Măsurarea intensității câmpului electric¹ și a potențialul electric² dintr-un condensator

Scopul lucrării

- Determinarea intensității câmpului electric \vec{E} într-un condensator plan în funcție de tensiunea aplicată U între armăturile acestuia.
- Determinarea intensității câmpului electric \vec{E} într-un condensator plan în funcție de distanța d dintre armăturile acestuia.
- Măsurarea potențialului electric într-un condensator plan pe direcția perpendiculară cu armăturile acestuia. Determinarea intensității câmpului electric \vec{E} .
- Determinarea capacității unui condensator plan.

Teoria lucrării

Un condensator este un dispozitiv care înmagazinează sarcină electrică. Condensatorii variază ca formă și dimensiune, dar configurația de bază este formată din doi conductori încărcăți electric cu sarcini egale și de semn opus. Liniile câmpului electric generat de sarcinile de pe cei doi conductori sunt reprezentate în figura 1.

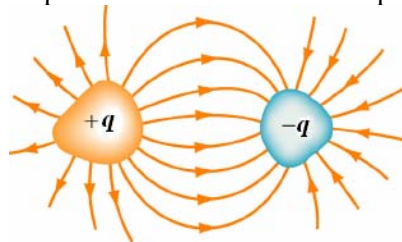


Fig. 1

Condensatorii au foarte multe aplicații în electronică cum sunt: acumularea de energie electrică, defazarea în urmă a tensiunii electrice când sunt legați cu rezistori într-un circuit de curent alternativ, filtrarea semnalelor cu frecvențe nedorite, formarea unor circuite rezonante, sau construirea unor divizoare de tensiune dependente sau independente de frecvență în circuite cu rezistori.

În starea neutră electric, sarcina de pe fiecare conductor este nulă. În procesul de încărcare electrică, o sarcină electrică q se deplasează de la un conductor la celălalt, astfel că unul dintre conductori se încarcă cu sarcina q și celălalt cu sarcina $-q$. Prin urmare, se generează o diferență de potențial între cei doi conductori, potențialul mai mare avându-l conductorul încărcat pozitiv, iar cel mai mic conductorul încărcat negativ. Observăm că și în cazul condensatorului încărcat electric sarcina totală rămâne nulă.

Cel mai simplu condensator este format din două plăci conductoare (armături) de arie S , așezate paralel la distanța d , ca în figura 2.

¹ P3.1.7.4

² P3.1.3.3

Din experiență se știe că sarcina electrică q , înmagazinată pe un condensator, este direct proporțională cu diferența de potențial ΔV dintre armături,

$$q = C\Delta V, \quad (1)$$

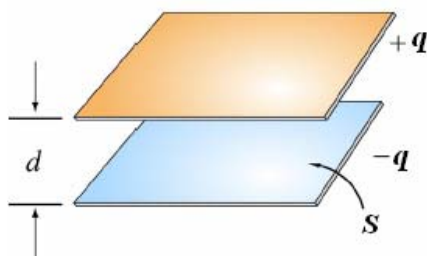


Fig. 2

unde C este o constantă pozitivă numită *capacitate electrică*. Capacitatea electrică depinde de proprietățile (dimensiunea, forma) celor două conductoare și de proprietățile izolatoare ale mediului dintre acestea. Unitatea de măsură în S.I. a capacității este $\frac{C}{V} = F$, numit *farad*. Această unitate este foarte mare pentru valorile uzuale ale capacității, astfel că, în practică, se utilizează submultiplii de la picofarad ($1\text{pF} = 10^{-12}\text{F}$) la nanofarad ($1\text{nF} = 10^{-9}\text{F}$), la microfarad ($1\mu\text{F} = 10^{-6}\text{F}$) și până la milifarad ($1\text{mF} = 10^{-3}\text{F}$).

În figura 3 sunt prezentate simbolurile utilizate pentru a reprezenta un condensator. În figura 3b este reprezentată și polarizarea electrică a condensatorului.



Fig. 3

Condensatorul plan este format din două plăci metalice paralele, de arie S , aflate la distanța d și încărcate electric cu sarcini de semn opus cu densitatea superficială ρ_S . În fig. 4a sunt reprezentate liniile de câmp electric. Se observă că în spațiul dintre armături liniile de câmp sunt paralele și echidistante, iar la margine acestea se curbează. Dacă distanța d este mult mai mică comparativ cu dimensiunile armăturilor atunci se poate neglija curbarea liniilor de câmp de la marginea armăturilor, ca în figura 4b.

Sarcina electrică de pe o armătură este $q = \rho_S S$.

Scriem legea lui Gauss pe suprafața gaussiană S' (fig. 4b),

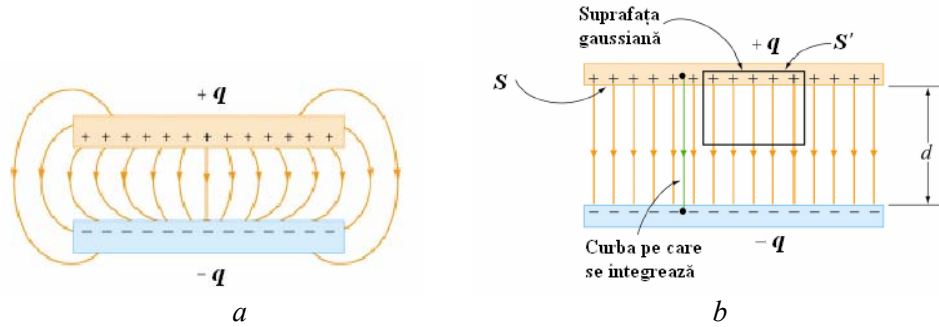


Fig. 4

$$ES' = \frac{\rho_s S'}{\epsilon_0 \epsilon_r}, \quad (2)$$

de unde

$$\vec{E} = \frac{\rho_s}{\epsilon_0 \epsilon_r} \vec{u}_r, \quad (3)$$

iar versorul \vec{u}_r este perpendicular pe armătura condensatorului. Observăm că intensitatea electrică din spațiul dintre armături este cu atât mai mare cu cât numărul de sarcini electrice din unitatea de suprafață, de pe armături, este mai mare.

Calculăm circulația vectorului \vec{E} pe un segment de dreaptă desenat de la o armătură la alta,

$$V_2 - V_1 = \int_0^d \vec{E} \cdot d\vec{r} = \frac{\rho_s}{\epsilon_0 \epsilon_r} \int_0^d dr = \frac{\rho_s}{\epsilon_0 \epsilon_r} d = \frac{q}{C} = \frac{\rho_s S}{C}, \quad (4)$$

de unde *capacitatea condensatorului plan* este

$$C = \frac{q}{V_2 - V_1} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r S}{d}. \quad (5)$$

Mărimea ϵ_r poartă numele de *permittivitatea electrică relativă* a dielectricului dintre armături și indică de câte ori este mai mare capacitatea condensatorului ce conține acel dielectric în raport cu un alt condensator cu aceleași dimensiuni, dar plin cu aer.

Din relația (5), densitatea superficială de sarcină este egală cu

$$\rho_s = \frac{q}{S} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r}{d} (V_2 - V_1),$$

astfel că

$$\vec{E} = \frac{V_2 - V_1}{d} \vec{u}_r. \quad (6)$$

Vom utiliza relația (6) pentru a determina, pe rând, dependența lui E de tensiunea aplicată pe armături $U = V_2 - V_1$, la o distanță d constantă, dependența lui E de distanța d , la o tensiunea aplicată pe armături $U = V_2 - V_1$ constantă și apoi dependența potențialului V de distanță, la un câmp electric E constant, pe direcția paralelă și perpendiculară pe armături.

Dispozitivul experimental

Măsurarea intensității câmpului electric în funcție de tensiunea aplicată pe armături $U = V_2 - V_1$, la o distanță d constantă și în funcție de distanța d dintre armături, la o tensiunea aplicată pe armături $U = V_2 - V_1$ constantă se face cu dispozitivul experimental prezentat în figura 5.

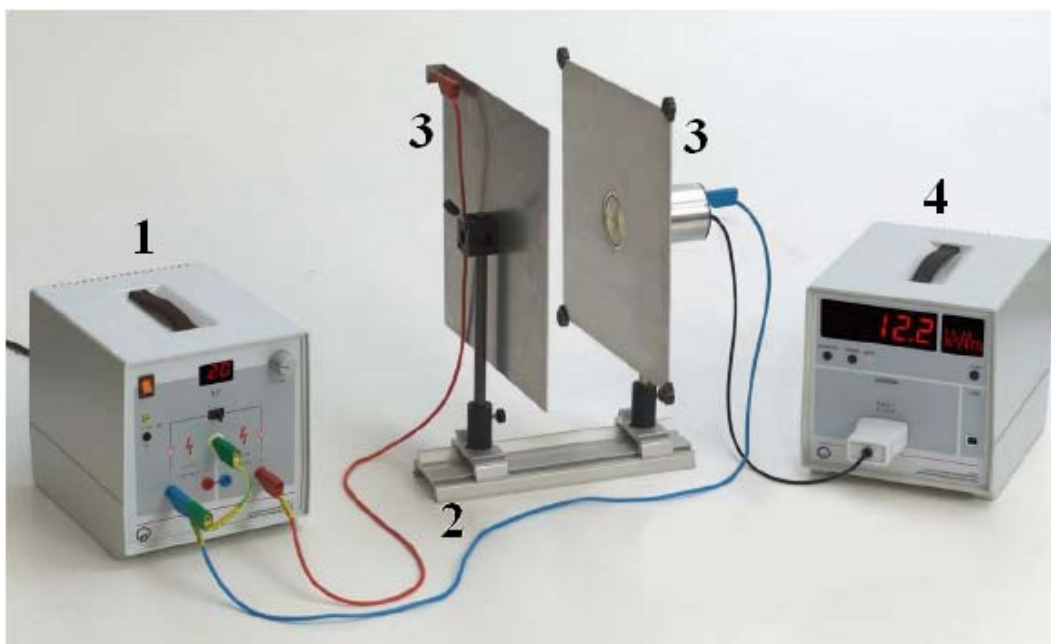


Fig. 5: 1. sursă de înaltă tensiune; 2. banc optic cu suporturi pentru armături; 3. armăturile condensatorului; 4. aparat de măsură a câmpului electric.

Măsurarea potențialului electric în spațiul dintre armăturile condensatorului, pe o direcție perpendiculară pe armături și pe o direcție paralelă cu armăturile, se face cu dispozitivul experimental prezentat în figura 6.

Dacă distanța dintre armături este semnificativ mai mică decât dimensiunile armăturilor, atunci putem considera că în spațiul dintre armături câmpul electric este omogen, adică liniile de câmp sunt paralele și echidistante. Liniile de câmp sunt orientate pe direcția perpendiculară pe suprafața armăturilor. Prin urmare, suprafețele echipotențiale, care reprezintă locul geometric al punctelor cu aceeași valoare a potențialului electric, sunt plane paralele cu suprafețele armăturilor, ca în figura 7.

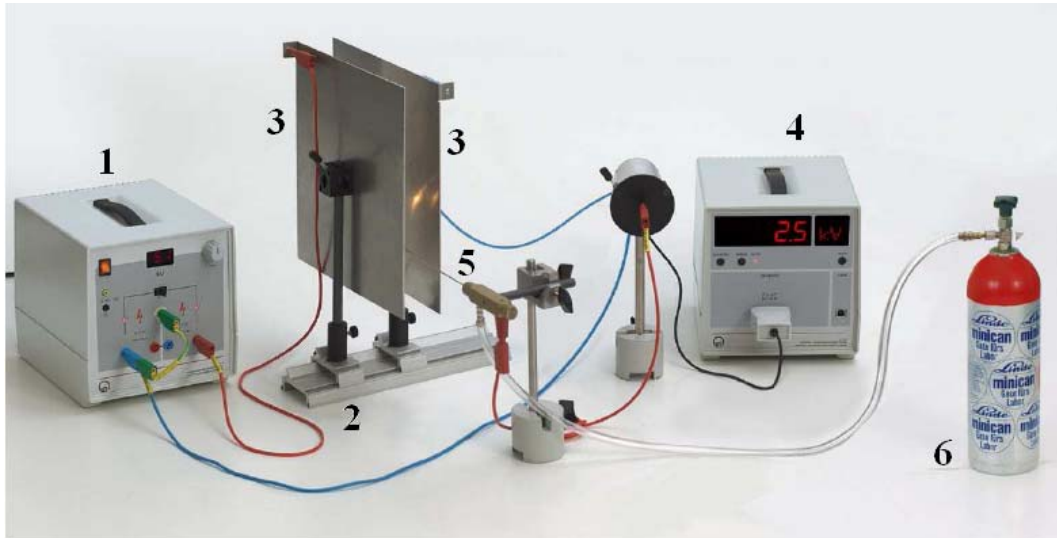


Fig. 6: 1. sursă de înaltă tensiune; 2. banc optic cu suporturi pentru armături; 3. armăturile condensatorului; 4. aparat de măsură a câmpului electric; 5. probă cu flacără; 6. butelie cu gaz.

Pentru măsurarea potențialului electric în spațiul dintre armăturile condensatorului se utilizează o probă cu flacără. În butelia metalică se află un gaz inflamabil, care curge prin probă și arde cu o flacără mică care ionizează aerul din jur. Datorită valorilor diferite ale potențialului electric în puncte diferite, apare un curent electric de ionizare. Aparatul de măsură înregistrează valorile potențialului electric în punctele în care este aprinsă flacăra.

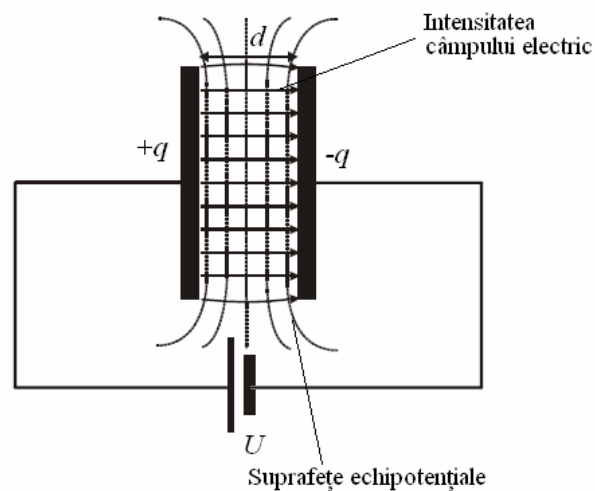


Fig. 7

Dacă proba cu flacără este deplasată paralel cu armăturile condensatorului se pot determina suprafețele echipotențiale din spațiul dintre armături, iar dacă se deplasează proba cu flacără după o direcție perpendiculară pe armături se determină variația potențialului electric în funcție de poziția probei în raport cu armăturile.

Modul de lucru

a). Măsurarea intensității câmpului electric \vec{E} din spațiul dintre armăturile condensatorului în funcție de tensiunea electrică de pe armături

Pentru realizarea experimentului utilizați dispozitivul din figura 5.

1. Fixați una din armăturile condensatorului pe bancul optic.
2. Introduceți în armătura găurită sonda aparatului pentru măsurarea intensității câmpului electric și prindeți armătura pe același banc optic.
3. Conectați sonda aparatului pentru măsurarea intensității câmpului electric la aparatul de măsură.
4. Legați la pământ polul negativ al sursei de înaltă tensiune și conectați sursa la comutatorul împământat din spatele aparatului de măsură.
5. Conectați polul pozitiv al sursei de înaltă tensiune de 10 kV la armătura condensatorului rămasă liberă.
6. Potrivii distanța dintre armături la valoarea $d = 1$ cm. Asigurați-vă că armăturile sunt paralele pentru a putea elimina efectele de margine.

Atenție: Asigurați-vă că împământarea este realizată corect, altfel echipamentul periferic (de exemplu, aparatul de măsură sau sensorul CASSY) conectat la aparatul de măsură poate deveni periculos.

Pentru efectuarea măsurătorilor intensității câmpului electric în funcție de tensiunea electrică aplicată pe condensator, conectați la rețeaua de tensiune sursa de înaltă tensiune și creșteți cu câte 1 kV tensiunea aplicată pe condensator în intervalul (0, 7) kV. Pentru fiecare valoare a tensiunii electrice aplicate citiți valoarea intensității câmpului electric pe aparatul de măsură.

Introduceți valorile obținute în tabelul 1.

Tabelul 1

U (kV)	1	2	3	4	5	6	7
E (V/m)							

b). Măsurarea intensității câmpului electric \vec{E} din spațiul dintre armăturile condensatorului în funcție de distanța dintre armături

În dispozitivul din figura 5 stabiliți valoarea distanței dintre armături la 6 mm (distanțori lipiți) apoi conectați sursa de tensiune înaltă și fixați tensiunea electrică aplicată între armături la valoarea de 2kV. Citiți pe aparatul de măsură valoarea intensității câmpului electric dintre armături.

Deconectați sursa de tensiune înaltă, modificați distanța dintre armături la valoarea de 9 mm, reconectați sursa de tensiune menținând valoarea la 2 kV și măsurați valoarea intensității câmpului electric dintre armături.

Repețați operația pentru valorile distanței dintre armături date în Tabelul 2.

Nu uitați! De fiecare dată înainte de a modifica distanța dintre armături, deconectați sursa de tensiune înaltă și apoi o reconectați pentru a putea măsura intensitatea câmpului electric dintre armăturile condensatorului.

Introduceți valorile obținute în tabelul 2.

Tabelul 2

d (mm)	6	9	12	15	18	21
$1/d$ (mm ⁻¹)						
E (V/m)						

c). Măsurarea potențialului electric V pe o direcție perpendiculară pe armături.

Pentru realizarea experimentului se utilizează dispozitivul din figura 6.

1. Fixați armăturile condensatorului pe bancul optic la o distanță de 5 cm.
2. Fixați aparatul de măsură pentru câmpul electric în suportul său. Înșurubați proba cu flacăra în partea superioară a tijei suport verticală și fixați-o apoi în suportul de bază.
3. Legați la pământ polul negativ al sursei de înaltă tensiune și conectați sursa la comutatorul împământat din spatele aparatului de măsură și la una din armăturile condensatorului.
4. Legați polul pozitiv al sursei de tensiune de 10 kV la cealaltă armătură a condensatorului care a rămas liberă.
5. Legați aparatul de măsură a câmpului electric la instrumentul de măsură și selectați VOLTAGE.
6. Așezați placa de măsurare a tensiunii în aparatul de măsurare a câmpului electric și legați proba cu flacăra la placa de măsurare a tensiunii.
7. Legați butelia la proba cu flacăra și verificați fermitatea conexiunilor tubului.
8. Apropiati o brichetă aprinsă de vârful probei cu flacăra și deschideți încet butelia până ce gazul care iese din aceasta arde cu o flacăra de aproximativ 10 mm lungime.
9. Așezați suportul probei cu flacăra pe rigla de lemn astfel încât să se poată deplasa proba pe direcție perpendiculară pe armăturile condensatorului. Proba cu flacăra trebuie să fie aliniată paralel cu armăturile pentru ca aceasta să perturbe cât mai puțin câmpul electric existent.
10. În timpul măsurărilor țineți proba cu flacăra doar cu ajutorul baghetei izolatoare, deoarece orice contact cu părțile metalice produce o descărcare electrică.

ATENȚIE: Împământarea incorectă face ca echipamentul periferic legat la aparatul de măsurare a câmpului electric să devină periculos.

- Fixați tensiunea electrică de pe armăturile condensatorului până la 3 kV.
- Aliniați rigla de lemn perpendicular pe armăturile condensatorului și așezați proba cu flacără pe riglă astfel încât să se poată deplasa proba pe direcția perpendiculară pe armături.
- Deplasați proba cu flacără pe rigla de lemn din 5 în 5 mm și notați valorile tensiunii electrice în fiecare poziție.
- Repetați operațiile de la punctul anterior menținând distanța dintre armăturile condensatorului la 50 mm și așezând proba cu flacără în poziție centrală între armături. Poziția $d = 0$ corespunde armăturii împământate a condensatorului.
- Treceți valorile obținute în tabelul 3.

Tabelul 3

d (cm)	5	10	15	20	25	30	35	40	45
U_1 (kV)									
U_2 (kV)									

Prelucrarea datelor experimentale

a). Măsurarea intensității câmpului electric \vec{E} din spațiul dintre armăturile condensatorului în funcție de tensiunea electrică de pe armături

Reprezentați grafic funcția $E(\text{V/m}) = f[U(\text{kV})]$ utilizând valorile din tabelul 1 și calculați panta dreptei obținute. Utilizând relația (6) și panta determinată experimental, calculați distanța dintre armături și comparați-o cu valoarea stabilită inițial.

Folosind dimensiunile armăturilor, determinați capacitatea condensatorului plan folosit. Se dă: $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$.

b). Măsurarea intensității câmpului electric \vec{E} din spațiul dintre armăturile condensatorului în funcție de distanța dintre armături

Reprezentați grafic funcția $E = E\left(\frac{1}{d}\right)$ utilizând valorile din tabelul 2.

Folosind panta măsurată pe grafic, determinați tensiunea aplicată pe armături și comparați-o cu valoarea experimentală.

c). Măsurarea potențialului electric V în punctele din spațiul dintre armăturile condensatorului

Reprezentați grafic funcția $U(\text{V}) = f[d(\text{cm})]$ utilizând valorile din tabelul 3 și determinați valorile intensității câmpului electric, $E(\text{kV/m})$ pentru cele 2 (două) seturi de date.