

## Lucrarea 7 - STUDIUL DESCĂRCĂRILOR ELECTRICE ÎN AER LA TENSIUNE CONTINUĂ, ÎN CÂMP PUTERNIC NEUNIFORM

### 1. Noțiuni teoretice

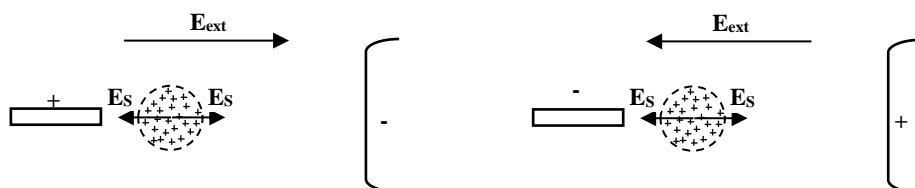
#### 1.1. Formarea descărcării. Influența polarității electrozilor

Procesul de formare a unei descărcări electrice în câmp puternic neuniform poate fi divizat în două etape succesive: *stadiul de descărcare corona* și *stadiul de descărcare în scânteie*. La rândul lor, descărcarea corona are loc succesiv în formă de avalanșă și de strimer, iar descărcarea în scânteie este precedată de stadiul de strimer.

Principali factori care influențează valoarea tensiunii disruptive, la care se produce străpungerea unei interval de aer, sunt:

- *forma și intensitatea câmpului electric dintre electrozi;*
- *gradul de neuniformitate și gradul de nesimetrie a câmpului electric;*
- *polaritatea electrozilor, influența polarității electrozilor fiind cu atât mai importantă cu cât nesimetria lor geometrică este mai mare.*

În continuare vor fi prezentate principalele aspecte ale formării unei descărcări electrice, considerând un sistem de electrozi tip vârf-placă, cei doi electrozi având polarități diferite, după cum rezultă și din reprezentarea grafică prezentată în figura 1.



**Fig. 1** – Influența sarcinii spațiale pozitive asupra intensității câmpului electric

Procesul de formare a descărcării este inițiat ca urmare a aplicării unei tensiuni crescătoare pe electrodul tip vârf. Acest lucru va conduce la atingerea unei intensități critice a câmpului electric, în imediata apropiere a electrodului vârf, fapt ce determină

apariția unor procese de ionizare în avalanșă. Ionii pozitivi, mai puțini mobili, formează o sarcină spațială care, prin câmpul său propriu, suprapus peste câmpul electric exterior (impus de geometria electrozilor) modifică intensitatea câmpului rezultat. Această modificare depinde de polaritatea electrozilor. Astfel, zona de maximă intensitate a câmpului electric este localizată în funcție de polaritatea electrodului vârf după cum urmează:

- *în imediata apropiere a vârfului, în cazul polarității negative a acestuia;*
- *la extremitatea sarcinii spațiale pozitive, opusă electrodului vârf, în cazul polarității pozitive a vârfului.*

Mărind în continuare valoarea tensiunii aplicate, vor apare alte procese de ionizare în avalanșă, localizarea acestora fiind în zona de maximă intensitate a câmpului electric, așa cum a fost ea descrisă mai sus. Aceste noi procese de ionizare contribuie, prin sarcinile electrice pe care le generează, la trecerea în stadiul de strimer al descărcării corona. De observat că apariția acestui stadiu are loc mai devreme, în raport cu mărimea tensiunii aplicate, în cazul polarității negative a electrodului vârf.

Apariția stadiului de strimer se poate recunoaște vizual prin observarea electrodului vârf pe care apar canale luminescente bine conturate, orientate către placă în cazul polarității negative a acestuia. În cazul polarității pozitive strimerul are o formă mai difuză emițând o lumină slabă, violacee, care ocupă o zonă relativ extinsă între electrozi. Stadiul de descărcare corona în avalanșă este observabil numai acustic.

Strimerul odată format, procesele de ionizare în avalanșă continuă în fruntea acestuia alimentând cu noi sarcini libere dezvoltarea canalului către electrodul opus. Datorită faptului că sarcina spațială pozitivă din fruntea strimerului, în cazul electrodului vârf pozitiv, contribuie la mărirea intensității câmpului electric în intervalul rămas către electrodul placă, strimerul are condiții favorabile de dezvoltare astfel încât este necesară o creștere relativ mică a tensiunii aplicate pentru a se trece la stadiul de descărcare în scânteie.

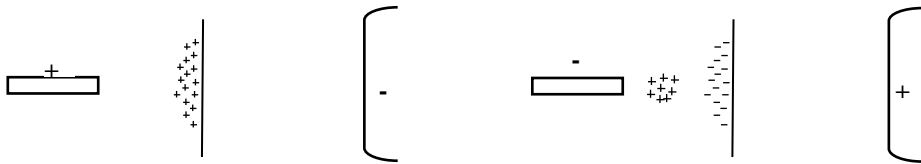
În cazul polarității negative a electrodului vârf, dimpotrivă, strimerul se formează la o tensiune aplicată mai mică, însă dezvoltarea lui în direcția electrodului placă este frânată datorită faptului că sarcina spațială pozitivă care se formează mereu în fața sa reduce intensitatea câmpului înspre placă. Astfel, tensiunea de străpungeră a intervalului este mai ridicată în cazul polarității negative a electrodului vârf.

În cazul sistemului de electrozi vârf-vârf, tensiunile de străpungeră sunt mai mari decât pentru electrozii vârf-placă, la polaritatea pozitivă a electrodului-vârf. Aceasta se poate explica prin prisma capacității electrice mai reduse a sistemului de electrozi, respectiv prin densitatea mai scăzută de sarcini electrice pe electrozi.

## 1.2. Influența ecranelor dielectrice

Prin ecrane se înțeleg folii subțiri de material izolant (hârtie, sticlă, mase plastice) a căror tensiune de străpungere este neglijabilă în raport cu tensiunea disruptivă a intervalului dintre electrozi și care se amplasează între electrozi, perpendicular pe axa sistemului de electrozi.

Influența ecranelor dielectrice se exercită prin faptul că acestea rețin pe suprafața lor sarcinile electrice care se deplasează între electrozi sub influența câmpului electric, după cum rezultă și din figura 2.



**Fig. 2** – Influența ecranelor dielectrice în sistemul de electrozi vârf-placă

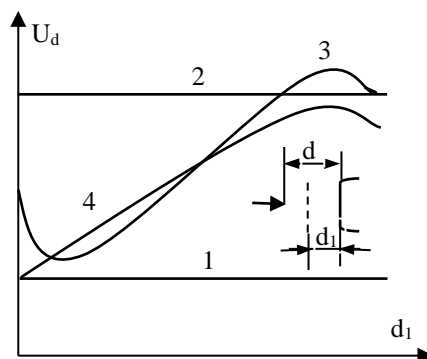
În cazul polarității pozitive a electrodului vârf ecranul reține ionii pozitivi care se deplasează către placă, urmând a se împrăști pe suprafața ecranului. Se creează astfel o zonă de câmp electric mai uniform între ecran și placă, ceea ce conduce la mărirea tensiunii de străpungere în raport cu valoarea obținută în lipsa ecranului.

În cazul polarității negative a electrodului vârf pe ecran sunt reținute sarcini electrice negative, care creează o nouă zonă de câmp intens între sarcina spațială pozitivă și ecran. Cu toate că apare și o uniformizare a câmpului electric între ecran și electrodul placă, pentru evoluția descărcării este hotărâtoare situația dintre ecran și vârf, ca urmare, se obține o reducere a tensiunii disruptive în prezența ecranului.

Influența ecranelor dielectrice depinde și de poziția lor față de electrozi, această poziție fiind determinată prin distanța  $d_1$  dintre ecran și placă, conform reprezentării grafice din figura 3.

**Fig. 3** – Influența poziției ecranului asupra tensiunii de străpungere în sistemul de electrozi vârf-placă:

- 1 – vârf (+) - placă (-);
  - 2 – vârf (-) - placă (+);
  - 3 – vârf (-) - placă (+) și ecran;
  - 4 – vârf (+) - placă (-) și ecran.
- $d$  – distanța vârf-placă  
 $d_1$  – distanța ecran-placă.



În general, cu cât  $d_l$  este mai mare, cu atât tensiunea de străpungere este mai mare. Abateri de la această regulă apar în cazul vârfului negativ și ecranului așezat foarte aproape de placă (apare fenomenul de emisie inversă) sau foarte aproape de vârf (sarcina spațială pozitivă rămâne între ecran și placă).

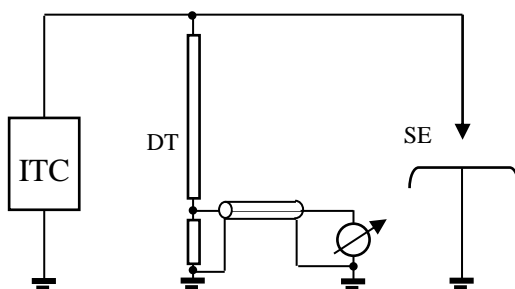
## 2. Determinări experimentale

Lucrarea de laborator vizează așadar înțelegerea modului în care gradul de neuniformitate al câmpului electric, respectiv polaritatea tensiunii continue, influențează procesul de străpungere al unui interval de aer.

În acest scop, în continuare, va fi prezentată instalația de înaltă tensiune ce urmează a fi folosită pentru efectuarea încercărilor.

### 2.1. Prezentarea instalației din laborator

Pentru efectuarea determinărilor experimentale se va utiliza instalația de încercare cu tensiune înaltă continuă, de 300 kV, 50 mA, din dotarea laboratorului de înaltă tensiune al facultății. Montajul experimental va fi realizat în conformitate cu schema de principiu prezentată în figura 4.

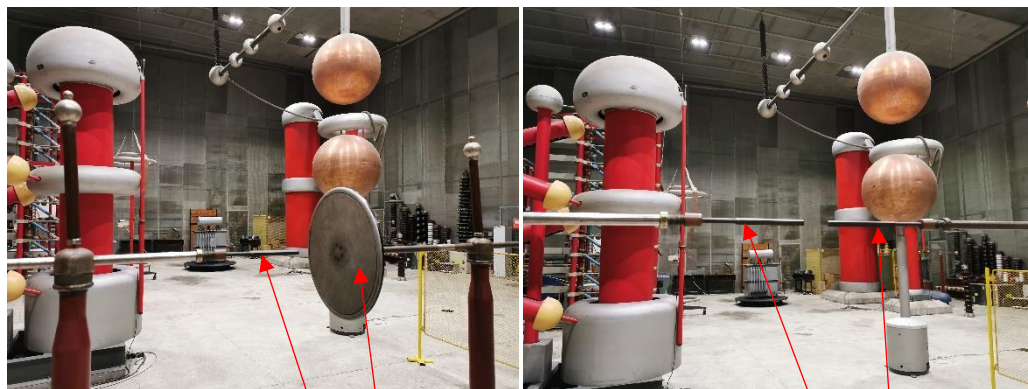


**Fig. 4** – Schema de principiu a montajului experimental

Notațiile din figura anterioară au următoarele semnificații: ITC- instalație de încercare cu tensiune înaltă continuă; DT- divizor de tensiune rezistiv; SE- sistemul de electrozi cu câmp puternic neuniform.

Instalația de tensiune continuă și divizorul rezistiv de tensiune au fost prezentate pe larg în cadrul lucrării 2 de laborator – *Producerea și măsurarea tensiunilor înalte continue* (§ 2.1 – pag. 35), atât din punct de vedere constructiv, cât și în ceea ce privește modul de utilizare.

În ceea ce privește sistemul de electrozi ce urmează a fi utilizat, acesta este compus din perechile *vârf – placă*, respectiv *vârf – vârf*, prin intermediul cărora este obținut un câmp electric neuniform nesimetric, respectiv neuniform simetric. În figura 5 sunt prezentate detalii sub formă grafică a celor două sisteme de electrozi utilizate în montajul experimental al lucrării.

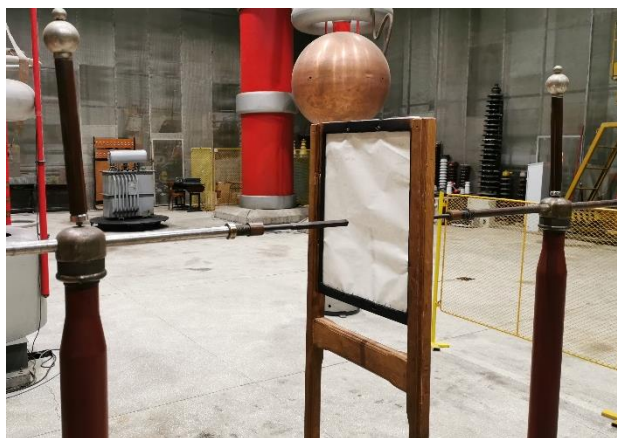


a. Sistem de electrozi *vârf – placă*.

b. Sistem de electrozi *vârf – vârf*.

**Fig. 5** – Sisteme de electrozi pentru modelarea câmpurilor electrice neuniforme în laboratoarele de înaltă tensiune

Pentru a putea analiza influența ecranelor dielectrice asupra modului de formare a descărcărilor electrice și, implicit, asupra tensiunii de străpungere a intervalului de aer dintre cei doi electrozi se va utiliza o coală de hârtie ce va fi dispusă pe un cadru lemn care va fi amplasat între electrozii din montajul experimental, așa cum se poate observa și din figura 6.



**Fig. 6** – Dispunerea unui ecran dielectric în intervalul de aer dintre electrozii considerați

## 2.2. Modul de lucru

Studiile experimentale urmăresc așadar determinarea tensiunii de străpungere a unui interval de aer pentru diferite distanțe între electrozi, în câmp puternic neuniform, ca urmare a aplicării tensiunii continue.

Astfel se vor analiza următoarele cazuri:

- sistem de electrozi *vârf (+) – placă (-)*;
- sistem de electrozi *vârf (-) – placă (+)*;
- sistem de electrozi *vârf (-) – vârf (+)*;
- sistem de electrozi *vârf (-) – placă (+)*, cu ecran dielectric;
- sistem de electrozi *vârf (+) – placă (-)*, cu ecran dielectric;
- sistem de electrozi *vârf (+) – vârf (-)*, cu ecran dielectric.

În continuare vor fi prezentate indicațiile de lucru pentru prelevarea datelor experimentale în cazul sistemelor de electrozi fără ecran dielectric, respectiv în prezența ecranului dielectric.

### a. Determinarea tensiunii de străpungere a aerului în absența ecranelor dielectrice

Determinarea tensiunilor de străpungere se va realiza măbind succesiv distanța dintre electrozii considerați, conform următoarelor valori: 2, 4, 6, 8 și 10 cm.

Pentru măsurarea tensiunilor de străpungere se va proceda după cum urmează:

- se montează sistemul de electrozi *vârf (+) – placă (-)*, conform reprezentării grafice din figura 5.a, asigurând distanțele indicate anterior între cei doi electrozi;
- se vor efectua seturi de trei încercări pentru fiecare distanță reglată, valoarea tensiunii fiind citită de pe cadranul voltmetrului conectat în brațul de joasă tensiune al divizorului rezistiv de tensiune; se are în vedere modificarea corespunzătoare a domeniului de măsurare al voltmetrului, o dată cu creșterea distanței dintre electrozi;
- pentru modificarea polarității tensiunii de încercare se va schimba poziția redresoarelor din cadrul instalației de tensiune continuă, conform indicațiilor furnizate de cadrul didactic ce coordonează activitatea de laborator;
- se reiau seturile de câte trei încercări pentru configurația *vârf (-) – placă (+)*, utilizând aceleași distanțe între electrozi;
- se realizează montajul experimental prezentat în figura 5.b, rezultând astfel sistemul *vârf (-) – vârf (+)*, pentru care se efectuează din nou seturi de trei încercări la fiecare dintre distanțele considerate;
- toate intervențiile în zona de înaltă tensiune, pentru modificarea distanței dintre electrozi, respectiv pentru modificarea sistemului de electrozi, se vor realiza

numai după întreruperea tensiunii de alimentare a instalației și verificarea, în prealabil, a prezenței tensiunii remanente pe elementele instalației, cu ajutorul scurtcircuitorului mobil.

*b. Analiza influenței ecranelor dielectrice asupra tensiunii de străpungere a intervalelor de aer*

Pentru realizarea acestui studiu se au în vedere următoarele etape:

- se vor considera sistemele de electrozi *vârf (+) – placă (-)*, *vârf (-) – placă (+)*, respectiv *vârf (+) – vârf (-)*, distanța dintre electrozi fiind stabilită la 10 cm;
- ecranul dielectric este constituit dintr-o coală de hârtie, ce va fi dispusă între cei doi electrozi, așa cum este indicat și în figura 6, la distanțele 3 cm, respectiv 7 cm față de electrozii tip placă;
- se vor realiza seturi de trei încercări pentru fiecare poziție a ecranului în raport cu electrozii tip placă sau electrozii tip vârf opus;
- în situația în care ecranul de hârtie ia foc ca urmare a străpungerii sale, acesta va fi înlocuit cu o nouă coală de hârtie, intervenția în zona de înaltă tensiune realizându-se cu respectarea regulilor precizate anterior, legat de întreruperea alimentării și verificarea prezenței tensiunii remanente.

Rezultatele tuturor experimentelor se vor nota într-un tabel realizat conform modelului prezentat mai jos.

**Tabelul 1.** Rezultatele determinărilor experimentale

Sistemul de electrozi	$d$ (cm)	$d_1$ (cm)	$U_d$ (kV)				$E = U_d / d$ (kV/cm)
			1	2	3	med.	
vârf (+) – placă (-)	..... .....						
vârf (-) – placă (+)	..... .....						
vârf (+) – placă (-) cu ecran	..... .....	..... .....					
vârf (-) – placă (+) cu ecran	..... .....	..... .....					
vârf (+) – vârf (-)	..... .....						
vârf (+) – vârf (-) cu ecran	..... .....	..... .....					

Pentru toate sistemele de electrozi considerate valoarea tensiunii de străpungere a intervalului de aer va fi calculată ca medie a celor trei determinări încercări efectuate.

De asemenea, se va calcula intensitatea câmpului electric, având în vedere distanțele considerate între electrozi.

Se va reprezenta grafic variația tensiunii, respectiv a intensității câmpului electric, în funcție de distanță,  $U_d = f(d)$  și  $E = f(d)$ , pentru cazul sistemelor de electrozi fără ecran dielectric. Se vor compara rezultatele cu explicațiile teoretice.