

# DESCĂRCAREA ELECTRICĂ ÎN AER LA TENSIUNE ALTERNATIVĂ DE FRECVENȚĂ INDUSTRIALĂ

## 1. Baze teoretice

### 1.1. Câmpul electric neuniform

Formarea descărcărilor electrice și valoarea tensiunii disruptive depind în mod esențial de distribuția intensității câmpului electric dintre electrozi, iar aceasta la rândul său depinde de forma electrozilor, de poziția lor reciprocă și de faptul dacă unul din electrozi este sau nu legat la pământ.

Pentru caracterizarea distribuției câmpului electric, în general, se poate folosi noțiunea de grad de neuniformitate, definit prin raportul

$$k = \frac{E_{max}}{E_{med}} = \frac{E_{max} \cdot d}{U}, \quad (1)$$

în care:  $E_{max}$  – intensitatea maximă a câmpului electric în interval;  $d$  – distanța dintre electrozi;  $U$  – tensiunea aplicată între aceștia. Factorul  $k$  ia valorile: 1 pentru câmp uniform; între 1 și 2 pentru câmp slab neuniform; mai mare decât 4 pentru câmp puternic neuniform. Valoarea factorului de neuniformitate se poate calcula analitic doar pentru configurații simple de electrozi (sferă-sferă), cilindri paraleli sau coaxiali.

În cazul câmpurilor uniform și slab neuniform, la densitate normală a aerului, condiția de autonomie a descărcării este aceeași (densitatea sarcinilor electrice libere din avalanșă suficient de mare, orientativ numărul electronilor din avalanșă mai mare de cca.  $10^8$ ), iar momentul îndeplinirii sale este practic identic cu momentul formării descărcării în scânteie.

În cazul câmpului puternic neuniform condiția de autonomie a descărcării este îndeplinită inițial la suprafața electrodului cu raza de curbură cea mai mică și la o tensiune aplicată cu atât mai mică decât tensiunea disruptivă, cu cât gradul de neuniformitate este mai mare. În acest caz apare un nou stadiu în formarea descărcării, stadiul de descărcare autonomă incompletă, localizată la electrodul cu rază mică de curbură, cunoscut sub denumirea de descărcare corona.

Valoarea tensiunii disruptive depinde de distanța dintre electrozi, de gradul de neuniformitate a câmpului, umiditatea și densitatea aerului, viteza de variație a tensiunii aplicate.

### 1.2. Tensiunea disruptivă în câmp uniform

Câmpul electric uniform există, teoretic, numai între electrozi plani paraleli, cu dimen-

siuni infinite. În practică, câmpul uniform se poate obține folosind electrozi plani, cu marginea curbată astfel încât intensitatea maximă a câmpului să se obțină în zona plană, centrală, iar în zona curbată acesta să fie mai mică. Există mai multe forme de astfel de electrozi.

**Profilul Rogowski** (fig.1,a) este descris de ecuația:

$$y = \frac{a}{\pi} e^{\frac{\pi}{a} - x} \quad (2)$$

Distanța dintre electrozi este limitată la mărimea  $a$ , care, dacă este depășită, se produce trecerea către câmp neuniform.

**Profilul Borda** (fig.1,b) este caracterizat prin unghiul  $\varphi$  dintre vectorii intensitate a câmpului electric la suprafața electrozilor în zona plană și la extremitatea profilului. Pentru cazul din fig.1,b,  $\varphi \leq 90^\circ$ . Există profile Borda având  $\varphi > 90^\circ$ , mergând până la  $180^\circ$ . Profilul din fig.1,b este descris de ecuațiile:

$$x = \frac{a}{\pi} \left[ \sin \varphi - \ln \operatorname{tg} \left( \frac{\varphi}{2} + \frac{\varphi}{4} \right) \right]; \quad y = \frac{a}{\pi} \cos \varphi \quad (3)$$

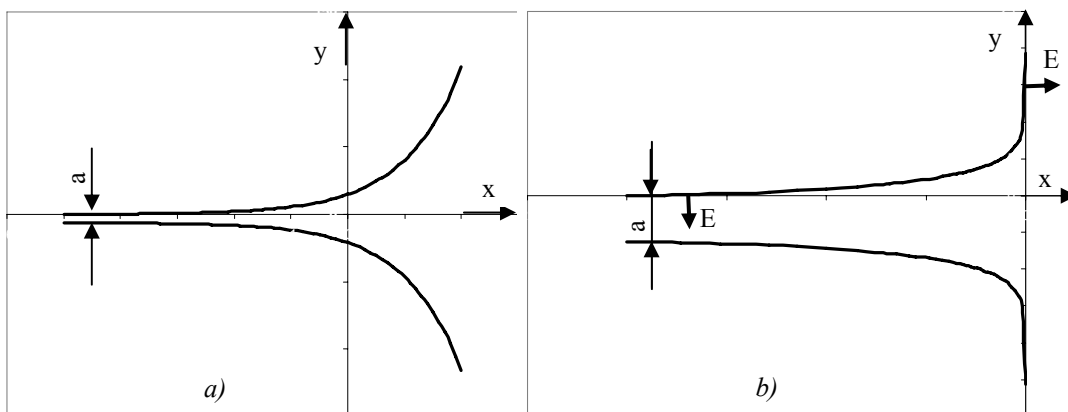


Fig.1-Sisteme de electrozi pentru câmp electric uniform:  
a) – profil Rogowski; b) profil Borda

Mărimea tensiunii de străpungere a aerului în câmp uniform este dată de legea lui Paschen, iar în câmp slab neuniform, de legea similitudinii descărcărilor. Pentru scopuri practice este mai comod de a utiliza relații de calcul empirice. Pentru electrozi plani-paraleli cu marginile curbate ( $k=1$ ):

$$U_d = 24,5\delta s \left( 1 + \frac{0,28}{\sqrt{\delta s}} \right), \quad (4)$$

în care  $\delta$ - este densitatea relativă a aerului, iar dacă  $s$ - distanța dintre electrozi este exprimată în  $cm$ , rezultă  $U_d$  în  $kV$  (valoare de vîrf în cazul tensiunii alternative).

### 1.3. Tensiunea disruptivă în câmp puternic neuniform

Caracterul de câmp puternic neuniform este propriu celor mai multe configurații de electrozi întâlniți în practica tensiunilor înalte. Este imposibil a se stabili o relație de calcul a valorii tensiunii de străpungere, general valabilă, deoarece forma și dispunerea electrozilor, care exercită influența principală asupra ei, pot fi foarte diferite. În experimentele de laborator, câmpul puternic neuniform asimetric se modelează prin sistemul de electrozi vârf-placă, iar câmpul puternic neuniform simetric prin sistemul de electrozi vârf-vârf.

Pentru electrozi vârf-vârf, la distanța  $s > 8$  cm, se poate utiliza relația de calcul a tensiunii disruptive

$$U_d = \sqrt{2}(14 + 3,16\delta s), \quad (5)$$

în care semnificația mărimilor componente este aceeași ca pentru relația (4).

## 2. Indicații metodice

Experimentele de laborator se vor efectua pentru determinarea tensiunii de străpungere în aer pentru sisteme de electrozi cu câmp uniform și puternic neuniform. Se utilizează montajul din fig.2, în care: ITA- instalație pentru producerea tensiunilor înalte alternative, având  $U_n = 250$  kV; DT- divizor de tensiune capacitiv; VV- voltmetru de vârf; SE- sisteme de electrozi.

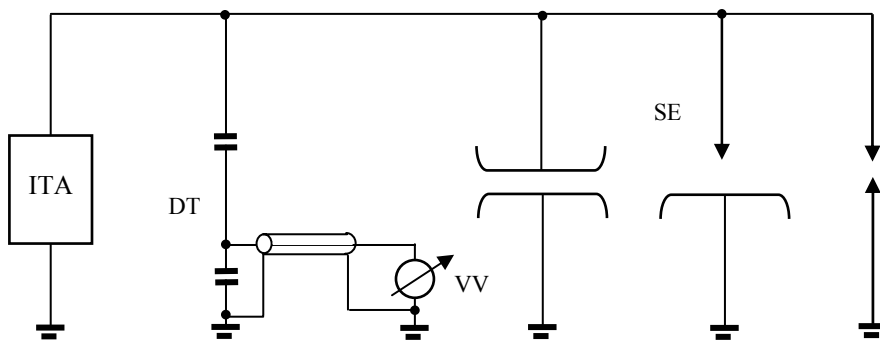


Fig. 2- Schema de principiu a montajului experimental

Pentru studiul descărcării în câmp uniform se va utiliza o pereche de electrozi de formă disc, cu marginile curbate, conform profilului Rogowski. Parametrul  $a$  are valoarea  $2\pi$  (cm). Se vor folosi diferite distanțe între electrozi, în limitele  $0...a$  și se vor măsura cu ajutorul voltmetrului de vârf, tensiunile disruptive. Valoarea măsurată,  $U_{dm}$  va fi stabilită ca media a trei încercări în condiții identice, care au dat rezultate apropiate.

Pentru aceleași distanțe, între electrozi se va calcula tensiunea disruptivă,  $U_{dc}$ , folosind

relația (4), în care densitatea relativă a aerului,  $\delta$ , se determină cu relația

$$\delta = \frac{T_0}{T} \frac{p}{p_0} = \frac{273}{T} \frac{p}{760} = 0.359 \frac{p}{T}, \quad (6)$$

în care  $p$  se introduce în mmHg iar  $T$  în grade Kelvin.

Rezultatele obținute se trec în tabelul de mai jos. Se vor reprezenta grafic funcțiile  $U_{dm} = f(s)$ ,  $U_{dc} = f(s)$ ,  $E_{dm} = f(s)$ .

Pentru studiul descărcării în câmp puternic neuniform se vor utiliza electrozi vârf-placă și vârf-vârf. Distanța dintre electrozi se va putea mări până când tensiunea disruptivă va atinge cca. 80% din tensiunea nominală a instalației de încercare. Valoarea măsurată va fi, de asemenea, media a trei încercări.

Se va monta un ecran dielectric (hârtie) la jumătatea distanței dintre electrozi și se vor măsura tensiunile disruptive pentru diferite distanțe între electrozi, fără a depăși limita de tensiune menționată mai sus.

Pentru sistemul de electrozi vârf-vârf, cu distanțe între electrozi  $s > 8$  cm, se vor calcula tensiunile disruptive cu relația (5) și se vor compara cu valorile măsurate.

Rezultatele obținute se trec în tabel. Se vor reprezenta grafic  $U_{dm} = f(s)$  și  $E_{dm} = f(s)$ , pentru toate sistemele de electrozi folosite.

Se vor prezenta concluzii privind rezultatele experimentelor.

Sistemul de electrozi	s [cm]	$U_{dm}$ [kV]				$U_{dc}$ [kV]	$E_m = \frac{U_{dm}}{s}$ [kV/cm]
		1	2	3	Med.		
Placă - placă	...						
Vârf - placă	...						
Vârf - vârf	...						
Vârf placă cu ecran	...						
Vârf - vârf cu ecran	...						

### Bibliografie:

1. Gavrilaş N – *Tehnica tensiunilor înalte*, I.P. Iași, 1975, pag.42-49, 53-59, 68, 78-82