

## Lucrarea 10 – CONTURNAREA IZOLATOARELOR

### 1. Noțiuni teoretice

Descărcarea electrică între electrozi, de-a lungul suprafeței de separare a două medii izolante este numită conturnare. Adesea construcțiile electroizolante sunt formate din două sau mai multe materiale dielectrice. Categoria cea mai numeroasă este aceea a izolatoarelor liniilor electrice aeriene și a echipamentelor din stațiile de transformare, cele două medii izolante fiind porțelanul (sau sticla) și aerul atmosferic. Izolația internă, a transformatoarelor, a întrerupătoarelor etc., prezintă, de asemenea, astfel de suprafețe de separație între materialele solide (hârtie, carton, textolit etc.) și uleiul electroizolant.

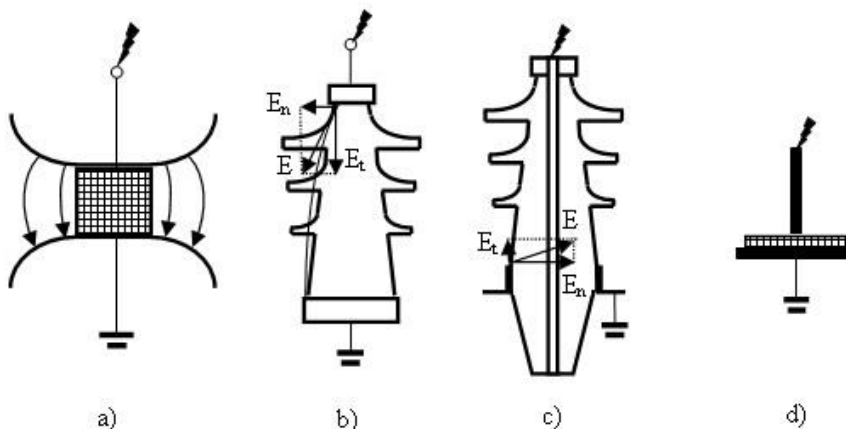
Dacă suprafața de separație dintre materialele izolatoare nu este echipotențială, de-a lungul acesteia poate să apară o descărcare electrică la o valoare a tensiunii aplicate cu atât mai redusă cu cât câmpul electric este mai neuniform. Factorii de care depinde mărimea tensiunii de conturnare sunt: distribuția câmpului electric între electrozi, natura izolației, starea și forma ei, dimensiunile izolatorului, condițiile de mediu (presiune, temperatură, umiditate, etc), forma tensiunii aplicate. În funcție de starea suprafeței izolației solide, poate exista conturnare în stare uscată sau umedă, sub ploaie sau în prezența depunerilor poluante. Intensitatea câmpului electric și orientarea liniilor de forță ale acestuia în raport cu suprafața materialului izolant solid reprezintă cel mai important factor de care depinde mărimea tensiunii de conturnare.

În figura 1 sunt reprezentate câteva tipuri de izolatoare ca și liniile de forță, respectiv vectorii intensitate a câmpului electric, corespunzători.

#### 1.1. Conturnarea izolatoarelor cu câmp electric uniform

Izolatoare cu câmp electric uniform nu se întâlnesc practic în construcțiile electroizolante. Acest caz prezintă, însă, importanță teoretică pentru explicarea unor fenomene care contribuie la formarea descărcării și la obținerea unei tensiuni de conturnare mai mică decât tensiunea de străpungere a intervalului de aer dintre electrozi, în lipsa materialului izolant. O astfel de configurație apare atunci când între două plăci metalice cu margini curbate se introduce un material dielectric de formă cilindrică, având

înălțimea mult mai mică decât diametrul plăcilor (figura 1,a) astfel încât câmpul electric în zona dielectricului să rămână uniform.



**Fig. 1** – Tipuri de izolatoare: a) izolator cu câmp electric neuniform; b) izolator suport; c) izolator de trecere; d) izolator cu electrozi vârf-placă

La suprafața de separație a celor două medii izolante (gazos și solid) fiind paralelă cu liniile de forță ale câmpului electric, nu se produce nici o modificare a intensității câmpului datorită prezenței dielectricului solid. În schimb, apare o creștere a intensității câmpului electric în interstițiile de aer care pot exista la contactul dintre electrozi și dielectric și care favorizează apariția ionizărilor în aceste locuri. Sarcinile electrice rezultate se „revarsă” pe suprafața dielectricului solid favorizând deformarea câmpului electric și inițierea descărcării. În acest mod, la creșterea în continuare a tensiunii aplicate electrozilor, procesele de ionizare se extind pe suprafața izolatorului. Când canalul de descărcare ajunge la electrodul opus, conturnarea este încheiată.

Tensiunea de conturnare scade cu cât umiditatea din aer este mai mare și materialul dielectric posedă o higroscopicitate superficială mai ridicată, ceea ce dovedește contribuția umidității superficiale la deformarea câmpului electric. Acest efect este cu atât mai vizibil cu cât tensiunea aplicată are o durată mai mare.

## 1.2. Conturnarea izolatoarelor cu câmp electric puternic neuniform

Configurațiile electrozilor izolatoarelor folosite în instalațiile de înaltă tensiune sunt destul de diverse, iar câmpul electric între aceștia este puternic neuniform. Formarea descărcării în acest caz este influențată de direcția vectorului intensitate a câmpului electric față de suprafața dielectricului solid, în zona în care intensitatea câmpului electric este maximă. Se deosebesc astfel două cazuri tipice:

- izolatoare la care predomină componenta tangențială  $E_t$  a intensității câmpului pe suprafața izolației, cum este cazul *izolatorului suport* (figura 1, b), a *izolatorului tijă* sau a *lanțului de izolatoare*;
- izolatoare la care predomină componenta normală  $E_n$  a intensității câmpului pe suprafața izolatorului, cum este cazul *izolatorului de trecere* (figura 1, c) sau a construcției izolante mai rar întâlnite, din figura 1, d.

În continuare vor fi descrise mecanismele de conturnare a izolatoarelor tip suport, respectiv de trecere.

#### a. Conturnarea izolatorului suport

În cazul izolatorului suport valoarea cea mai ridicată a intensității câmpului electric apare la marginea electrodului sub tensiune, astfel încât descărcarea va începe în această zonă sub formă de descărcare corona. Odată cu creșterea tensiunii aplicate, canalele descărcării vor avansa de-a lungul liniilor de câmp, deci în principal pe suprafața izolatorului (în cazul suprafețelor netede), până la electrodul opus.

Pentru mărirea tensiunii de conturnare pot fi luate în considerare următoarele soluții:

- creșterea dimensiunilor izolatorului, și anume a înălțimii (a lungimii *liniei de fugă*), respectiv a diametrului acestuia;
- realizarea anvelopei izolante prin dispunerea unor nervuri pe suprafața acesteia, soluție ce asigură creșterea lungimii liniei de fugă fără a crește și lungimea izolatorului, nervurile respective având totodată și rol de ecrane dielectrice;
- uniformizarea repartiției câmpului electric de-a lungul suprafeței izolatorului prin dispunerea unor armături metalice, sub forma unor inele, pe electrodul sub tensiune sau pe ambii electrozi.

Prima soluție, ce presupune creșterea în dimensiuni a izolatorului, atrage o serie de dificultăți tehnice asociate eforturilor mecanice mai ridicate ce apar datorită gabariturii mai mare, fiind astfel implementată doar în condiții de strictă de necesitate, cum ar fi cele specifice unor zone cu grad ridicat de poluare. Referitor la soluția ce presupune dispunerea nervurilor pe suprafața izolatorului, trebuie făcută precizarea că dacă acestea sunt prea dese și pronunțate este posibilă dezvoltarea descărcării pe un traseu mai scurt, între marginile exterioare ale nervurilor, astfel încât eficiența acestora este diminuată.

#### b. Conturnarea izolatorului de trecere

În cazul izolatoarelor de trecere, intensitatea câmpului electric atinge cea mai mare valoare la flanșa izolatorului și ca urmare aici vor avea loc primele procese de descărcare sub forma unei descărcări corona. Canalele descărcării avansează către electrodul opus,

strâns lipite de suprafața izolatorului, datorită componentei normale, predominante, a intensității câmpului pe această suprafață. Curentul din canalele descărcării se închide (în cazul aplicării unei tensiuni variabile) prin capacitatea acestor canale față de electrodul opus (tija conductoare). La o valoare suficient de mare a tensiunii aplicate, dezvoltarea canalului descărcării are loc cu viteză mult sporită datorită apariției ionizării termice, stimulată de bombardarea suprafeței izolatorului cu sarcini electrice sub influența componentei intensității câmpului electric normală la suprafața izolatorului. Acest stadiu de dezvoltare a descărcării poartă denumirea de descărcare alunecătoare.

În scopul măririi tensiunii de conturnare a izolatorului de trecere se pot implementa următoarele măsuri:

- dispunerea unor nervuri pe suprafața anvelopei izolante, cu aceleași efect ca și la izolatorul suport;
- creșterea diametrului izolatorului, asigură reducerea intensității câmpului electric la suprafață scade și apare o diminuare a curentului în canalul descărcării ceea ce are ca efect mărirea tensiunii de conturnare.
- uniformizarea repartiției câmpului electric la suprafața izolatorului, folosind armături cilindrice coaxiale în corpul izolatorului, armături între care există straturi de material izolant.

Primele două procedee, menționate mai sus, au însă o eficacitate din ce în ce mai limitată pe măsura creșterii tensiunii nominale a izolatorului. Implementarea celei de-a treia soluții conduce la obținerea unei construcții speciale a izolatorului, acesta fiind cunoscut sub denumirea de *izolator tip condensator multiplu*. În acest mod este posibilă obținerea unor izolatoare mult mai suple decât prin metodele precedente, această soluție fiind larg aplicată la realizarea izolatoarelor de trecere pentru transformatoarele de înaltă și foarte înaltă tensiune.

### 1.3. Conturnarea izolatoarelor poluate și umezite

Poluarea sau contaminarea reprezintă depunerea unor impurități pe suprafața izolatorului, în timpul exploatarei. Cele mai importante surse de poluare sunt: sărurile din atmosfera zonelor marine, industriile chimică, metalurgică sau a materialelor de construcții (fabrici de ciment), centralele termoelectrice care folosesc cărbuni etc.

În starea uscată a izolatorului, depunerile de impurități nu au practic influență asupra tensiunii de conturnare. Prezența umidității pe suprafața izolatorului poluat creează pelicule conductoare care șuntează parțial linia de fugă a izolatorului, micșorând tensiunea de conturnare; influența este cu atât mai mare cu cât pelicula conductoare este repartizată mai neuniform pe suprafața izolatorului. Prin această peliculă apar curenți de scurgere care provoacă, prin efect termic, uscarea locală mai întâi în zonele cu densitatea

maximă de curent, de pe suprafața izolatorului. Pe porțiunile uscate crește căderea de tensiune, ceea ce determină apariția unor descărcări prin care se șuntează porțiunea uscată având și efect de creștere a curentului de scurgere, pe linia respectivă de curent, deci uscarea suprafeței izolatorului în alte zone, respectiv apariția unor alte descărcări locale. În cele din urmă, dacă tensiunea aplicată este suficient de mare, diferitele descărcări locale se contopesc, determinând formarea unui canal de conturare.

În același mod se produce și conturnarea izolatoarelor curate, udate datorită precipitațiilor atmosferice. În acest caz însă, intensitatea proceselor descrise este mai redusă la aceeași tensiune aplicată, deoarece repartiția conductivității peliculei superficiale de pe suprafața izolatorului nu mai este atât de neuniformă. Din acest motiv tensiunea de conturare a izolatoarelor curate în stare umedă este mai mare decât aceea a izolatoarelor poluate și umezite, ambele fiind inferioare tensiunii de conturare a izolatoarelor în stare uscată.

Întrucât procesele de formare a conturnării izolatoarelor poluate sau umezite decurg relativ lent, tensiunea de conturare va depinde de durata de aplicare a tensiunii și, ca urmare, în cazul aplicării tensiunii de impuls mărimea tensiunii de conturare va fi egală cu cea determinată la izolatorul în stare uscată.

Pentru mărirea tensiunii de conturare, în cazul când izolatoarele se află în zone cu poluare intensă, se pot lua următoarele măsuri:

- mărirea lungimii liniei de fugă, prin mărirea numărului de nervuri sau a lungimii izolatorului;
- folosirea izolatoarelor cu capacitate mare de autocurățire (auto-lavabile) la care ploaia asigură spălarea izolatorului, deci îndepărtarea depunerilor solubile în apă;
- acoperirea izolatoarelor (în stațiile de transformare) cu unsori care absorb depunerile poluante, împiedicând formarea pe suprafața izolatorului a peliculelor conductoare;
- utilizarea izolatoarelor compozite, cu anvelopă din cauciuc siliconic, care se comportă mult mai bine în prezența poluării decât izolatoarele din sticlă sau porțelan.

## 2. Determinări experimentale

Lucrarea de laborator vizează așadar înțelegerea mecanismelor prin care are loc procesul de conturare a izolatoarelor, fiind investigată influența câmpului electric asupra tensiunii de conturare, dar și a unor soluții ce pot fi implementate pentru creșterea tensiunii de conturare. Astfel, în cadrul părții experimentale a lucrării de

laborator se va determina dependența tensiunii de conturare de lungimea liniei de fugă,  $U_c = f(l_f)$ .

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

## 2.1. Prezentarea montajului experimental al lucrării

Pentru efectuarea determinărilor experimentale se va utiliza instalația de încercare cu tensiune înaltă alternativă, de 250 kV, din dotarea laboratorului de înaltă tensiune al facultății. Montajul experimental va fi realizat în conformitate cu schema de principiu prezentată în figura 2.

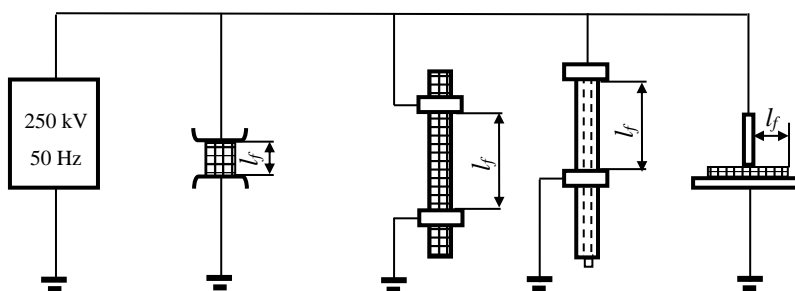


Fig. 2 – Schema montajului experimental

Instalația de tensiune alternativă a fost prezentată pe larg în cadrul lucrării 1 de laborator – *Producerea și măsurarea tensiunilor înalte alternative* (§ 2.1 – pag. 19), atât din punct de vedere constructiv, cât și în ceea ce privește modul de utilizare.

Modelele fizice de laborator utilizate pentru modelarea diverselor tipuri de izolatoare sunt prezentate în continuare:

- *modelul de izolator cu câmp electric uniform* este format din electrozi disc cu margini curbate între care se introduc piese cilindrice din material plastic cu diferite înălțimi;
- *izolatoarele suport și de trecere* sunt modelate cu tije cilindrice din porțelan pe care pot fi deplasate armături metalice pentru a modifica lungimea traseului conturnării, așa cum se poate observa și din detaliile grafice prezentate în figura 3;
- *izolatorul placă* este simulat cu discuri din material plastic, având diametre diferite, așezate pe o placă metalică, tensiunea fiind aplicată printr-un electrod cilindric cu diametru mic.



**Fig. 3** – Modele de laborator ale izolatoarelor tip suport - a), respectiv de trecere - b)

Din analiza izolatoarelor prezentate în figura 3 se poate constata că formele acestor electrozi diferă de acelea ale izolatoarelor reale, însă câmpul electric creat de către aceste modele respectă principala caracteristică, respectiv mărimea componentei dominante, specifică fiecărui tip de izolator în parte, astfel încât ele pot fi utilizate fără nicio problemă pentru determinările experimentale considerate.

Pentru modificarea lungimii liniei de fugă fiecare model de izolator este prevăzut cu o clemă mobilă, dispusă în partea inferioară, ce poate fi deplasată de-a lungul tijei de porțelan, stabilind astfel distanța dorită față de clemă fixă din capătul opus.

## 2.2. Modul de lucru

La partea experimentală a lucrării se urmărește analiza influenței lungimii de fugă a izolatorului asupra tensiunii de conturare a acestuia. În acest scop se vor utiliza modelele de izolator suport și de trecere prezentate în figura 3, lungimea liniei de fugă fiind stabilită succesiv la următoarele distanțe: 5, 10, 15, 20, respectiv 25 cm.

În continuare sunt prezentate indicațiile de lucru necesare realizării încercărilor experimentale:

- se montează, pe rând, modelele de izolator considerate, conform reprezentărilor grafice din figura 3, modificând succesiv lungimea liniei de fugă în conformitate cu valorile precizate mai sus;

- se vor efectua seturi de trei încercări pentru fiecare valoare a lungimii liniei de fugă, valoarea tensiunii de alimentare în primarul cascadei fiind citită la momentul conturnării acestuia, de pe cadranul voltmetrului de joasă tensiune aflat pe pupitrul de comandă al instalației;
- pentru determinarea tensiunii de conturare a izolatorului,  $U_c$ , se va înmulți tensiunea de alimentare a cascadei înregistrată anterior cu raportul de transformare al cascadei, acesta fiind de 1250;
- în timpul încercărilor se va urmări modul de formare a descărcării, pentru a identifica caracteristicile specifice modului de conturare a celor două tipuri de izolatoare;
- toate intervențiile în zona de înaltă tensiune, pentru modificarea lungimii liniei de fugă, respectiv pentru schimbarea modelului de izolator, 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.

Rezultatele astfel obținute se trec într-un tabel realizat conform modelului prezentat mai jos.

**Tabelul 1.** Rezultatele determinărilor experimentale

Tipul izolatorului	$l_f$ (cm)	$U_c$ (kV <sub>v</sub> )				$U_c/l_f$ (kV <sub>v</sub> /cm)
		1	2	3	media	
Izolator suport	5					
	...					
	25					
Izolator trecere	5					
	...					
	25					

Cu ajutorul valorilor din tabelul de mai sus se va reprezenta grafic dependența  $U_c = f(l_f)$  pe același sistem de axe pentru toate cazurile studiate. Se vor compara între ele rezultatele obținute pentru aceeași lungime a traseului conturnării, rezultând concluzii referitoare la influența formei electrozilor (câmpului electric) asupra tensiunii de conturare.