

## **Determinarea zonelor de protecție generate de sistemul de paratrăsnete al unei stații de transformare de 110/20 kV**

### **1. Introducere**

Lucrarea de laborator are ca obiectiv analiza modului de asigurare a protecției contra loviturilor directe de trăsnet pentru o stație de transformare de 110/20 kV, tipică sistemului electroenergetic național.

În țara noastră riscul producerii unui defect de ecran al sistemelor de paratrăsnete este precizat în normativul *NTE 001/03/00* privind *Alegerea izolației, coordonarea izolației și protecția instalațiilor electroenergetice împotriva supratensiunilor*, valoarea maximă admisă fiind de  $10^{-3}$ , ceea ce înseamnă o lovitură directă de trăsnet în obiectul protejat dintr-o mie de lovituri ce s-au orientat asupra sistemului paratrăsnet-obiect protejat.

Zona de protecție a unui sistem de paratrăsnete reprezintă volumul asociat paratrăsnetelor respective, pentru care un obiect aflat în interiorul acestui spațiu va fi expus loviturilor directe de trăsnet cu o anumită probabilitate ce nu trebuie să depășească valoarea riscului de defect de ecran acceptată în normative. Proiectarea sistemelor de paratrăsnete constă în stabilirea numărului optim de paratrăsnete și a înălțimii acestora, amplasarea lor în raport cu obiectele ce trebuie protejate, precum și realizarea instalației de legare la pământ a acestora. Primele două componente se concretizează prin determinarea zonei de protecție a sistemului de paratrăsnete.

Dimensiunile zonei de protecție ce trebuie calculate în cazul sistemelor de paratrăsnete verticale sunt următoarele:

- raza zonei protejate la nivelul solului și la înălțimea  $h_x$ , la care se află obiectul ce se dorește a fi protejat;
- lățimea zonei protejate, la nivelul solului și la înălțimea de analiză  $h_x$ , determinată de două paratrăsnete adiacente;
- înălțimea minimă protejată între două paratrăsnete adiacente, precum și în spațiul dintre trei sau patru paratrăsnete.

De-a lungul timpului metodele de calcul a dimensiunilor zonelor de protecție au evoluat și ele, de la abordări din cele mai simple, specifice secolului al XIX-lea, către modele de calcul mult mai complexe având evident un grad de precizie al estimării mai ridicat.

Astfel, pentru analiza modului de asigurare a protecției stației considerate vor fi utilizate succesiv metoda modelelor de laborator, propusă de Akopian, și reglementată actualmente prin normativul *NTE 001/03/00*, respectiv metoda sferei fictive, elaborate în conformitate cu teoria

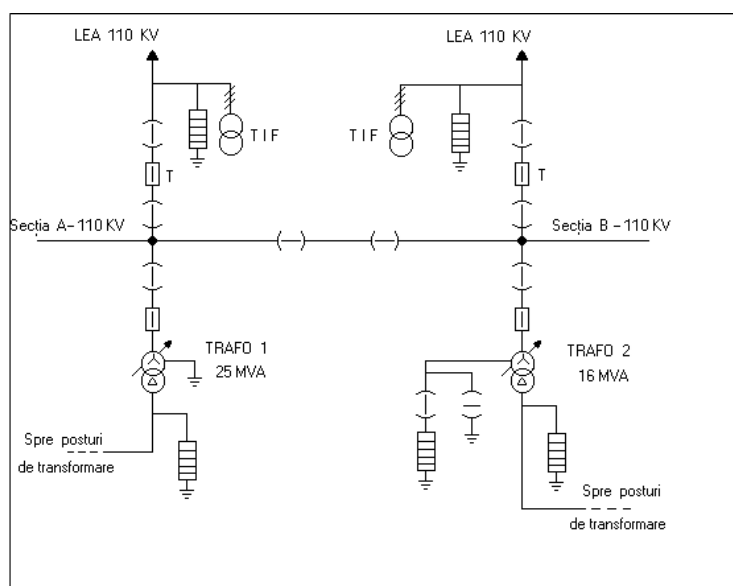
## *Calculul zonelor de protecție generate de sistemul de paratrăsnete al unei stații de transformare de 110/20 kV*

electrogeometrică a orientării descărcărilor de trăsnet. Modelele matematice de calcul a zonelor de protecție, specifice celor două metode, vor fi prezentate în continuare

### 2. Studiu de caz

În continuare se propune realizarea unui studiu comparativ privind dimensiunilor zonelor de protecție asigurate de sistemul de paratrăsnete verticale dintr-o stație de transformare de 110/20 kV, tipică sistemului electroenergetic național. Calculele vor fi efectuate utilizând cele două modele matematice prezentate anterior.

Schema monofilară simplificată a stației analizate este prezentată în figura 1, de unde se poate observa că stația are două sisteme de bare legate printr-o cuplă longitudinală. La acest sistem de bare sunt racordate două celule de LEA de 110 kV, având celulele de linie identice în privința tipului și dispunerii echipamentelor componente și două celule de transformator. Pentru protecția împotriva supratensiunilor de impuls stația este prevăzută cu două seturi de câte două descărcătoare cu rezistență variabilă, montate câte unul în fiecare celulă de linie, și de transformator.



**Fig.1.** Schema monofilară a stației de transformare de 110/20kV

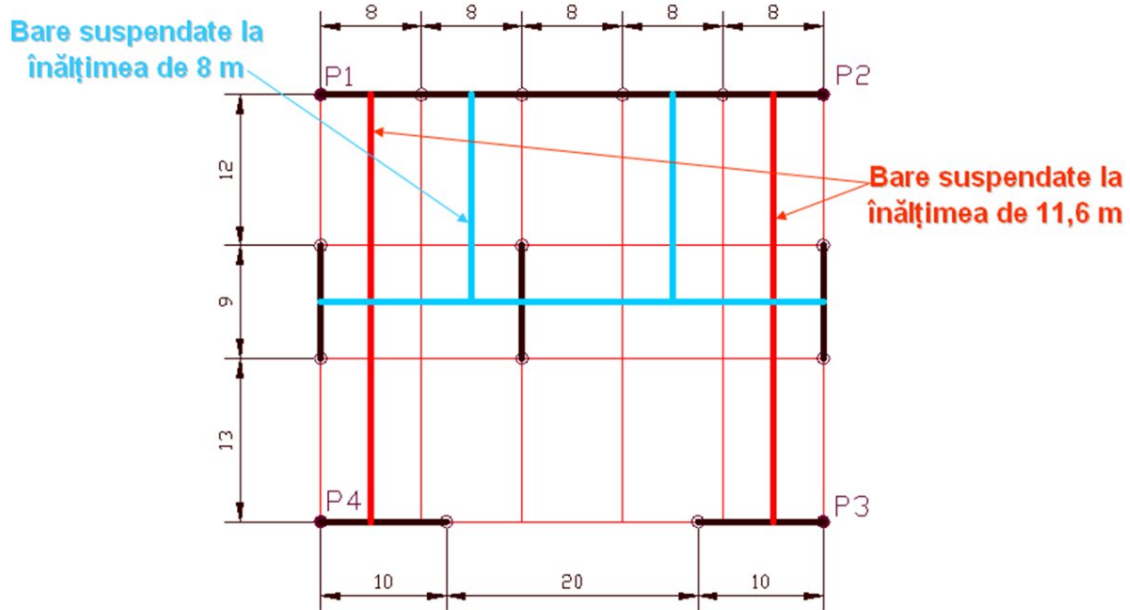
Planurile de analiză a protecției împotriva loviturilor directe de trăsnet, așa cum reies și din figura 2, sunt:

- $h_x = 11,6$  m – în zona instalațiilor de 110 kV care cuprind celulele de linie;
- $h_x = 8$  m – în zona podului de bare care asigură conexiunea între transformatoare și restul instalațiilor de 110 kV.

Protecția împotriva loviturilor directe de trăsnet este realizată prin intermediul unui sistem de patru paratrăsnete verticale, cu înălțimea de 8 m, ce sunt dispuse pe traveele de beton ce susțin sistemul de bare amplasat la înălțimea de 11,6 m. În consecință, înălțimea totală a celor patru paratrăsnete verticale este de 19,6 m. Distanțele dintre structurile aflate pe teritoriul stației pot fi identificate din figura 2.

**Calculul zonelor de protecție generate de sistemul de paratrăsnete  
al unei stații de transformare de 110/20 kV**

---



**Fig.2.** Planurile de analiză a protecției împotriva loviturilor directe de trăsnet și dispunerea paratrăsnetelor existente în stația de 110/20kV

### 2.1. Verificarea protecției prin metoda normată (metoda lui Akopian)

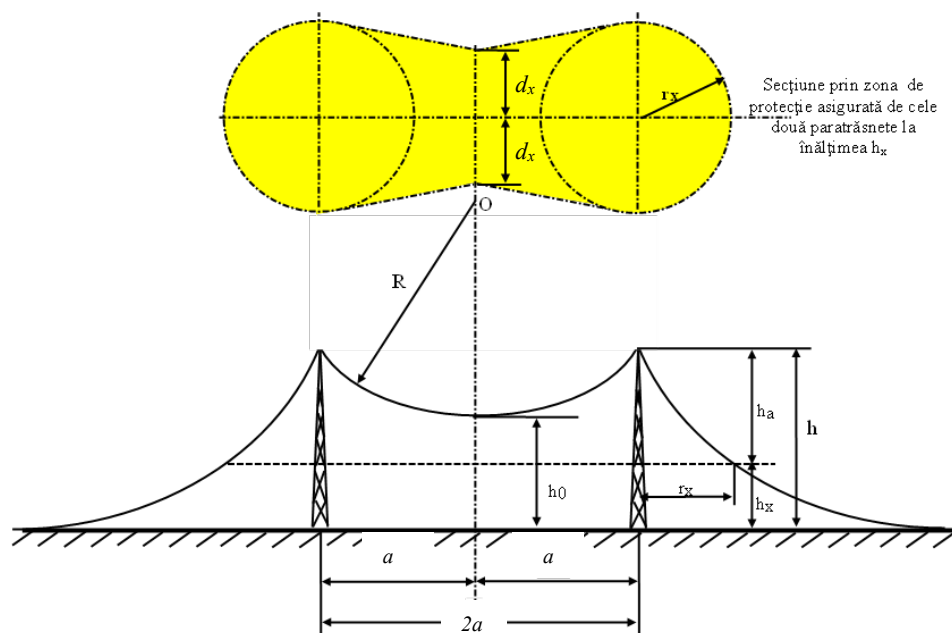
Această metodă a fost propusă de către Akopian încă din anii '30, când acesta a realizat în laborator modelarea sistemului lider descendent – paratrăsnet cu ajutorul unei tije dispuse la o anumită înălțime față de o altă tijă instalată la sol. Ca urmare a încercărilor efectuate au fost propuse apoi relații de calcul pentru dimensiunile zonei de protecție generată de paratrăsnetul vertical.

Metoda poate fi utilizată atât pentru dimensionarea sistemelor de paratrăsnete verticale, cât și pentru cazul sistemelor de conductoare de protecție, în continuare fiind prezentat, sintetic, doar modelul matematic aplicabil pentru cazul sistemului de paratrăsnete din stația supusă analizei.

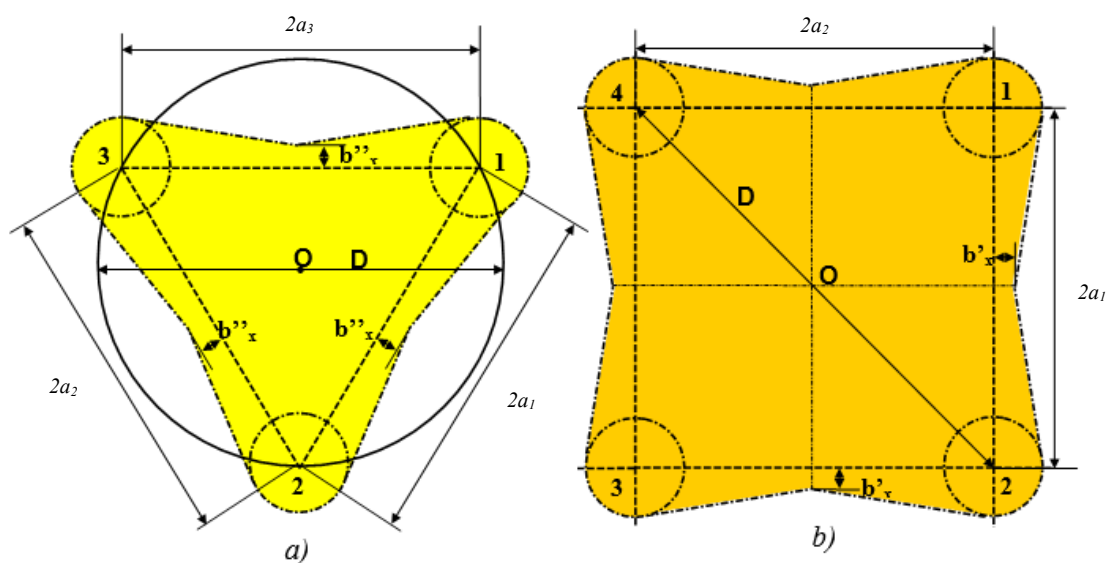
#### **A. Modelul matematic de determinare a dimensiunilor zonelor de protecție**

Din analiza structurii stației considerate reiese faptul că cele patru paratrăsnete sunt dispuse sub forma unui dreptunghi. În consecință, sistemul de paratrăsnete poate determina o zonă de protecție complexă, ce trebuie să asigure protecția atât în spațiul comun dintre cele patru paratrăsnete, cât și în spațiul adiacent laturilor dreptunghiului. Pentru exemplificare, în figurile 3 și 4 sunt prezentate secțiunile în planul transversal, respectiv orizontal, al zonelor de protecție generate de două paratrăsnete verticale, respectiv de grupuri de trei și patru paratrăsnete verticale.

**Calculul zonelor de protecție generate de sistemul de paratrăsnete  
al unei stații de transformare de 110/20 kV**



**Fig.3.** Zona de protecție creată de două paratrăsnete verticale de aceeași înălțime



**Fig.4.** Secțiunile în plan orizontal prin zonele de protecție realizate de trei (a), respectiv patru (b) paratrăsnete verticale

Pentru determinarea dimensiunilor zonelor de protecție este necesară parcurgerea următoarelor etape:

**Calculul zonelor de protecție generate de sistemul de paratrăsnete  
al unei stații de transformare de 110/20 kV**

---

*A1. Verificarea existenței unei zone de protecție comune între cele patru paratrăsnete și calculul înălțimii minime protejate*

Un grup de patru paratrăsnete dispuse în dreptunghi, sau triunghi, va asigura o zonă comună de protecție dacă este îndeplinită următoarea condiție:

$$D \leq 8 \cdot (h - h_x) \cdot p \quad (1)$$

Termenii care apar în relația (1) au următoarele semnificații

- $D$  - diagonala dreptunghiului format de cele patru paratrăsnete, sau diametrul cercului circumscris triunghiului descris de cele trei paratrăsnete;
- $h$  - înălțimea paratrăsnetelor;
- $h_x$  - înălțimea planului în care se află echipamentele ce trebuie protejate;
- $p$  - parametru care descrie eficiența paratrăsnetului, a cărui valoare poate fi calculată conform expresiei:

$$\begin{cases} p = 1, & \text{pentru } h \leq 30\text{m} \\ p = \sqrt{\frac{30}{h}} \approx \frac{5,5}{\sqrt{h}}, & \text{pentru } h > 30\text{m} \end{cases} \quad (2)$$

Dacă condiția (1) este satisfăcută, reiese că grupul celor patru paratrăsnete asigură o zonă de protecție comună, a cărei înălțime minimă protejată,  $h_{0int}$ , se determină cu ajutorul relației:

$$h_{0int} = h - \frac{2a}{7 \cdot p} \quad (3)$$

în care parametrul  $a$  reprezintă, în acest caz, jumătate din lungimea diagonalei dreptunghiului descris de cele patru paratrăsnete.

*A2. Verificarea existenței unei zone de protecție comune între grupurile de două paratrăsnete adiacente și calcul înălțimii minime protejate*

Pe conturul descris de laturile dreptunghiului, grupurile de câte două paratrăsnete adiacente pot asigura o zonă comună de protecție, dacă distanța dintre paratrăsnetele adiacente,  $2a$ , satisface următoarea expresie:

$$2a < 7 \cdot h \cdot p \quad (4)$$

În condițiile îndeplinirii condiției (4), înălțimea minimă a zonei de protecție dintre grupurile de câte două paratrăsnete adiacente,  $h_{0lat}$ , se calculează folosind relația:

$$h_{0lat} = h - \frac{2a}{7 \cdot p} \quad (5)$$

*A3. Determinarea lățimii minime protejate, în planurile orizontale aflate la înălțimile de suspendare a celor două sisteme de bare ( $h_x = 11,6$  m și  $h_x = 8$  m), și la nivelul solului*

Așa cum rezultă și din figura 3, două paratrăsnete verticale adiacente care creează o zonă de protecție comună vor asigura, în plan lateral, o zonă protejată a cărei lățime minimă,  $d_x$ , se poate determina cu expresia:

**Calculul zonelor de protecție generate de sistemul de paratrăsnete  
al unei stații de transformare de 110/20 kV**

$$d_x = r_x \cdot \frac{7 \cdot p \cdot h_a - 2a}{12,5 \cdot p \cdot h_a - 2a} \cdot \frac{12,5}{7}, \quad (6)$$

în care parametrul  $h_a$  este dat de diferența dintre înălțimea paratrăsnetului și înălțimea  $h_x$  a planului în care se verifică asigurarea protecției,  $h_a = h - h_x$ .

**A4. Determinarea razei zonei de protecție generate de fiecare paratrăsnet vertical**

Fiecare paratrăsnet vertical generează o zonă de protecție sub forma unui con cu generatoare curbe, zona astfel protejată având o rază,  $r_x$ , în planul orizontal situat înălțimea  $h_x$ , respectiv  $r_0$ , în planul solului. Valorile razelor protejate se pot calcula cu ajutorul expresiilor:

$$r_x = \frac{1,6 \cdot (h - h_x)}{1 + \frac{h_x}{h}} \cdot p \quad (7)$$

$$r_0 = 1,6 \cdot h \cdot p \quad (8)$$

**B. Calculul dimensiunilor zonelor de protecție**

Pentru determinarea dimensiunilor zonei de protecție asigurate de sistemul de paratrăsnete verticale al stației considerate se va utiliza modelul matematic descris în secțiunea anterioară. Pentru aplicarea acestui model este, însă, necesară identificarea valorilor diferiților parametri care apar în modelul matematic descris. Astfel distanțele dintre diferitele structuri existente pe teritoriul stației pot fi identificate din analiza figurii 2, și se vor centraliza sub forma tabelului nr. 1

**Tabelul 1.** Detalii caracteristice stației analizate

Parametru	Paratrăsnete				
	P1	P2	P3	P4	-
$h$ (m)					-
Parametru	P1-P2	P2-P3	P3-P4	P4-P1	P1-P3
$2a$ (m)					
$a$ (m)					
$h_a$ (m)					$h_x = 11,6$ m
$h_a$ (m)					$h_x = 8$ m

Dimensiunile calculate ale zonelor de protecție se vor nota într-un tabel centralizator, întocmit după modelul următor:

**Tabelul 2.** Dimensiunile zonelor de protecție, calculate conform metodei normate

Parametru	Zona interioară - Grup paratrăsnete
	P1-P2-P3-P4
Condiție zonă comună	$D = \dots \leq D_{max} = \dots$
$h_{0int}$ (m)	

**Calculul zonelor de protecție generate de sistemul de paratrăsnete  
al unei stații de transformare de 110/20 kV**

	<b>Înălțimi laterale - Grup paratrăsnete</b>			
Parametru	<b>P1-P2</b>	<b>P2-P3</b>	<b>P3-P4</b>	<b>P4-P1</b>
<b>Condiție zonă comună</b>	<b>P1-P2:</b> $2a = \dots \leq 7 \cdot h \cdot p = \dots$			
	<b>P2-P3:</b> $2a = \dots \leq 7 \cdot h \cdot p = \dots$			
<b><math>h_{olat}</math> (m)</b>				
<b>Parametru</b>	<b>Conturul exterior – Lățimi laterale</b>			
	<b>P1-P2</b>	<b>P2-P3</b>	<b>P3-P4</b>	<b>P4-P1</b>
<b><math>d_x</math> (m) (<math>h_x = 11,6</math> m)</b>				
<b><math>d_x</math> (m) (<math>h_x = 8</math> m)</b>				
<b><math>d_0</math> (m) (<math>h_x = 0</math> m)</b>				
<b>Parametru</b>	<b>Conturul exterior – raze protejate</b>			
	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>
<b><math>r_x</math> (m) (<math>h_x = 11,6</math> m)</b>				
<b><math>r_x</math> (m) (<math>h_x = 8</math> m)</b>				
<b><math>r_0</math> (m) (<math>h_x = 0</math> m)</b>				

## 2.2. Verificarea protecției prin metoda sferei fictive

Aplicarea metodei sferei fictive este condiționată de determinarea, în prealabil, a valorilor curenților de protecție, rezultați ca urmare a unor lovituri directe de trăsnet în echipamentele de pe teritoriul stației analizate.

Curentul de protecție este acel curent care, lovind în echipamentele stației electrice de transformare, determină un nivel de supratensiune acceptabil: 450 kV pentru transformatoare și 550 kV pentru celelalte echipamente.

### A. Valorile curenților de protecție la lovituri directe de trăsnet

Determinarea amplitudinii curentului de trăsnet în vederea trasării zonelor de protecție a sistemului de paratrăsnete verticale ale stației de transformare implică determinarea nivelelor de tensiune care apar pe izolația echipamentului stației ca urmare a loviturii de trăsnet în circuitele primare ale stației.

Evaluarea, prin calcul a nivelului tensiunii de impuls într-o stație de transformare este o operație foarte dificilă în raport cu, de exemplu, cazul unei linii electrice aeriene, din cauza foarte numeroaselor puncte în care au loc fenomene de reflexie și refracție a undelor de tensiune și de curent.

Asemenea puncte sunt ramificațiile căilor de curent precum sunt racordurile celulelor de linie, de cuplă, de transformator la sistemele de bare ca și punctele în care echipamentele sunt racordate prin legături flexibile în circuitele acestor celule. Prezența echipamentelor influențează propagarea undelor de tensiune și de curent prin capacitatea izolației dintre căile de curent ale acestora și pământ.

## *Calculul zonelor de protecție generate de sistemul de paratrăsnete al unei stații de transformare de 110/20 kV*

Considerarea tuturor acestor fenomene de reflexie și refracție prin calcule analitice manuale este absolut exclusă datorită complexității, astfel că se recurge la folosirea unor programe de calcul adecvate. Nu se cunoaște existența, în România, a unui program de calcul specializat pe această problemă, astfel încât s-a recurs la utilizarea unui program general de calcul a regimurilor tranzitorii (ATP, variantă a EMTP).

Modelarea elementelor de circuit din stația analizată, și simularea regimurilor tranzitorii asociate unor lovituri directe de trăsnet, nu fac însă obiectul prezentei lucrări de laborator. Aceste analize au fost coordonate, în prealabil, de membrii colectivului de Tehnica Tensiunilor Înalte, valorile obținute, prin simulare, pentru stația de transformare analizată. Astfel, au fost considerate o serie de lovituri de trăsnet în sistemele de bare, respectiv în imediata vecinătate a transformatoarelor, rezultate obținute în ceea ce privește valoarea curenților de protecție, și a supratensiunilor înregistrate la nivelul transformatoarelor de forță, fiind prezentate sintetic în tabelul 3.

**Tabelul 3.** Valorile curenților de protecție obținute prin simularea loviturilor directe de trăsnet în echipamentele stației

Parametru	Nod de impact			
	Trafo 1	Trafo 2	SB 1	SB 2
$I_p$ (kA)	11,8	12,2	8,4	8,6
$U_t$ (kV)	456	453	-	-

În consecință, pentru analiza modului în care sistemul de paratrăsnete asigură protecția se va considera valoarea curentului de protecție 11,8 kA pentru protecția sistemului de bare situat la înălțimea de 11,6 m, iar pentru protecția sistemului de bare aflat la înălțimea de 8 m se va utiliza valoarea de 8,4 kA a curentului de protecție.

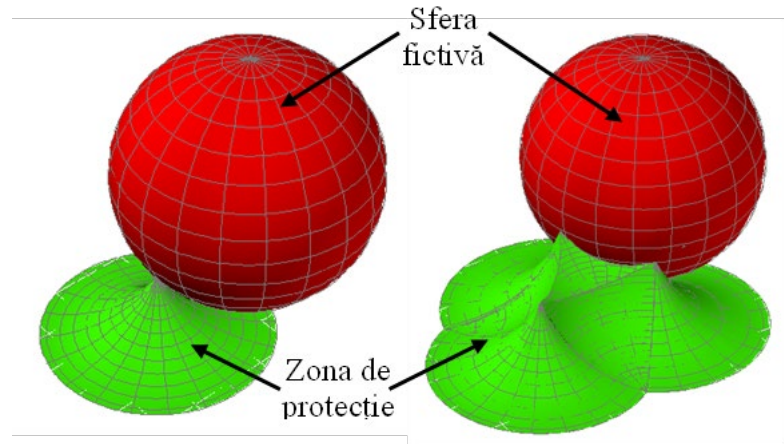
### ***B. Modelul matematic de determinare a dimensiunilor zonelor de protecție***

Determinarea dimensiunilor zonei de protecție conform metodei sferei fictive se aseamănă, procedural, cu metodologia aplicată în cazul utilizării metodei lui Akopian, în sensul în care zonele de protecție se construiesc tot pentru grupuri de unul, două, trei, respectiv patru paratrăsnete. Diferența este impusă de faptul că zonele de protecție sunt rezultate prin rularea unui sfere fictive, în centrul căreia se află vârful liderului descendent al descărcării de trăsnet, sfera fiind în contact permanent cu vârful paratrăsnetului și cu solul. Modul de generare a zonelor de protecție este prezentat sub formă grafică în detaliu prezentat în figura 5.

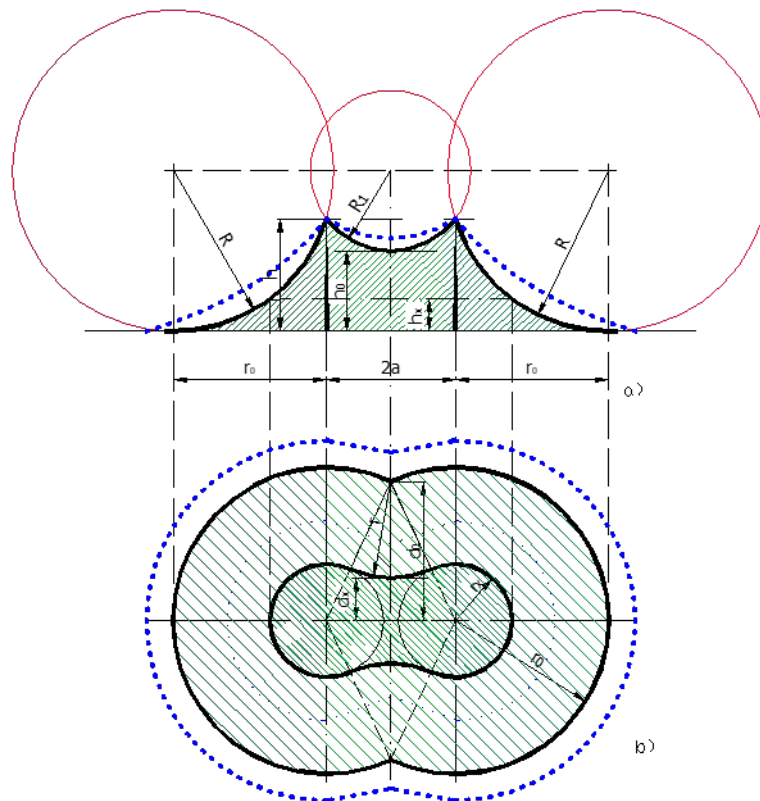
Raza sferei fictive reprezintă distanța de la care descărcarea de trăsnet se orientează către paratrăsnet/sol, sau o oricare altă structură cu care sfera intră în contact. Valoarea acestei raze depinde, în cazul instalațiilor electroenergetice, de valoarea curentului de protecție, valori care, pentru stația analizată, au fost prezentate anterior, în tabelul 3. Astfel, expresia de calcul a razei sferei fictive, adoptată în standardele CIGRE, este:

$$R = 9,4 \cdot I^{0,67} \quad (9)$$

**Fig.5.** Reprezentări tridimensionale ale zonelor de protecție obținute prin modelul sferei fictive



Secțiunile prin zona de protecție a două paratrăsnete verticale de aceeași înălțime sunt prezentate în figura 6.



**Fig.6.** Secțiuni prin zona de protecție a două paratrăsnete verticale identice, având  $h < R$

Pentru determinarea dimensiunilor zonelor de protecție este necesară parcurgerea următoarelor etape:

*A1. Verificarea existenței unei zone de protecție comune între cele trei/patru paratrăsnete și calculul înălțimii minime protejate*

**Calculul zonelor de protecție generate de sistemul de paratrăsnete  
al unei stații de transformare de 110/20 kV**

---

Ansamblurile de trei, respectiv patru paratrăsnete, formează zone de protecție comune numai dacă este îndeplinită condiția:

$$R_0 < r_0 \quad (10)$$

în care  $r_0$  este raza zonei protejate la nivelul solului (se va calcula cu expresiile (21-22)), iar raza  $R_0$  se calculează cu una dintre următoarele expresii:

- pentru trei paratrăsnete:

$$R_0 = \frac{2a_1a_2a_3}{\sqrt{(a_1+a_2+a_3)(a_1+a_2-a_3)(a_1-a_2+a_3)(-a_1+a_2+a_3)}}; \quad (11)$$

- pentru patru paratrăsnete:  $R_0 = \sqrt{a_1^2 + a_2^2}$  (11)

în relația (11) parametrii  $a_1$ ,  $a_2$  și  $a_3$  reprezintă semidistanța dintre grupurile de câte două paratrăsnete adiacente, dispuse în triunghi, iar în relația (12)  $a_1$  și  $a_2$  reprezintă jumătate din lungimea și lățimea dreptunghiului descris de cele patru paratrăsnete.

Dacă grupurile de trei sau patru paratrăsnete considerate generează o zonă de protecție comună (condiția (10) este îndeplinită), atunci înălțimea minimă a zonei interioare protejate va putea fi calculată cu expresia:

$$h_{0int} = h - R + \sqrt{R^2 - R_0^2}. \quad (13)$$

*A2. Verificarea existenței unei zone de protecție comune între grupurile de două paratrăsnete adiacente și calcul înălțimii minime protejate*

Grupurile de câte două paratrăsnete adiacente pot asigura o zonă comună de protecție dacă semidistanța dintre cele două paratrăsnete,  $a$ , îndeplinește următoarele condiții:

- $a < r_0$ , în cazul  $h < R$ ; (14)

- $a < R$ , în cazul  $h > R$ . (15)

În consecință, zona de protecție comună este  $h_{0lat} > 0$ , iar valoarea acesteia se poate determina conform expresiei:

$$h_{0lat} = R - R_1 \quad (14)$$

în care  $R_1$  este conturul porțiunilor dintre paratrăsnete, în plan vertical, rezultat la contactul sferei fictive simultan cu cele două paratrăsnete. Dacă paratrăsnetele au aceeași înălțime, atunci acest contur este delimitat de arce de cerc având razele:

- pentru  $h < R$ :  $R_1 = \sqrt{(R - h)^2 + a^2}$ ; (15)

- pentru  $h > R$ :  $R_1 = a$  (16)

*A3. Determinarea lățimii minime protejate, în planurile orizontale aflate la înălțimile de suspendare a celor două sisteme de bare ( $h_x = 11,6$  m și  $h_x = 8$  m), și la nivelul solului*

Două paratrăsnete verticale adiacente care creează o zonă de protecție comună vor asigura, în plan lateral, o zonă protejată a cărei lățime minimă, în planul solului  $d_0$ , se poate determina după cum urmează



*Calculul zonelor de protecție generate de sistemul de paratrăsnete  
al unei stații de transformare de 110/20 kV*

**Tabelul 5.** Dimensiunile zonelor de protecție, calculate conform metodei sferei fictive

<i>Protecția în planul <math>h_x = 11,6 \text{ m}</math>, <math>I_p = 11,8 \text{ kA}</math></i>				
<b>Raza sferei, <math>R = \dots\dots\dots</math> (m)</b>	<i>Zona interioară - Grup paratrăsnete</i>			
	<b>P1-P2-P3-P4</b>			
<i>Condiție zonă comună</i>	$R_0 = \dots\dots\dots \leq r_0 = \dots\dots\dots$			
$h_{0int} \text{ (m)} - h_x = 11,6 \text{ m}$				
<b>Parametru:</b>	<i>Înălțimi laterale - Grup paratrăsnete</i>			
	<b>P1-P2</b>	<b>P2-P3</b>	<b>P3-P4</b>	<b>P4-P1</b>
<i>Condiție zonă comună</i>	<b>P1-P2:</b> $a = \dots\dots\dots \leq r_0 = \dots\dots\dots$			
	<b>P2-P3:</b> $a = \dots\dots\dots \leq r_0 = \dots\dots\dots$			
$h_{0lat} \text{ (m)} - h_x = 11,6 \text{ m}$				
<b>Parametru:</b>	<i>Conturul exterior – Lățimi laterale / raze protejate</i>			
	<b>P1-P2 / P1</b>	<b>P2-P3 / P2</b>	<b>P3-P4 / P3</b>	<b>P4-P1 / P4</b>
$d_x \text{ (m)} - h_x = 11,6 \text{ m}$				
$r_x \text{ (m)} - h_x = 11,6 \text{ m}$				
$d_0 \text{ (m)}$				
$r_0 \text{ (m)}$				
<i>Protecția în planul <math>h_x = 8 \text{ m}</math>, <math>I_p = 8,4 \text{ kA}</math></i>				
<b>Raza sferei, <math>R = \dots\dots\dots</math> (m)</b>	<i>Zona interioară - Grup paratrăsnete</i>			
	<b>P1-P2-P3-P4</b>			
<i>Condiție zonă comună</i>	<b>P1-P2:</b> $a = \dots\dots\dots \leq r_0 = \dots\dots\dots$			
	<b>P2-P3:</b> $a = \dots\dots\dots \leq r_0 = \dots\dots\dots$			
$h_{0int} \text{ (m)} - h_x = 8 \text{ m}$				
<b>Parametru:</b>	<i>Înălțimi laterale - Grup paratrăsnete</i>			
	<b>P1-P2</b>	<b>P2-P3</b>	<b>P3-P4</b>	<b>P4-P1</b>
$h_{0lat} \text{ (m)} - h_x = 8 \text{ m}$				
<b>Parametru:</b>	<i>Conturul exterior – Lățimi laterale / raze protejate</i>			
	<b>P1-P2 / P1</b>	<b>P2-P3 / P2</b>	<b>P3-P4 / P3</b>	<b>P4-P1 / P4</b>
$d_x \text{ (m)} - h_x = 8 \text{ m}$				
$r_x \text{ (m)} - h_x = 8 \text{ m}$				
$d_0 \text{ (m)}$				
$r_0 \text{ (m)}$				

Realizați o analiză comparativă a celor două metode de dimensionare a zonelor de protecție, având în vedere gradul de dificultate a implementării și dimensiunile zonelor de protecție rezultate. Care metodă o recomandați pentru proiectarea sistemelor de paratrăsnete destinate protecției instalațiilor electroenergetice? Argumentați răspunsul.