SUPRATENSIUNI DE TRĂSNET
Partea I – Defectul de ecran

1. Trăsnetul

***Parametrii descărcării de trăsnet*:**

- Valoarea de vârf a curentului primei descărcări şi următoarele
- Forma undei de curent
- Numărul de descărcări dintr-un trăsnet

Distribuţia statistică a tuturor parametrilor trăsnetului poate fi aproximată cu o lege lognormală, a cărei densitate de probabilitate este de forma:

$$f(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\beta}e^{-\frac{1}{2}\left[\frac{ln(x/M)}{\beta}\right]^2} \tag{1}$$

M este valoarea mediană, iar ***β*** este deviaţia standard logaritmică. Valoarea mediană este 50/50 statistică. Asta înseamnă că 50% din observaţii sunt peste această valoare, iar 50% dedesubt.

Densitatea trăsnetelor la sol

Obiectivul principal urmărit cu privire la frecvenţa trăsnetelor este de a stabili numărul de trăsnete care lovesc liniile de transport sau staţiile de transformare. Acest număr poate fi obţinut folosind modelul geometric al stadiului final al descărcării de trăsnet sau prin ecuaţii de regresie. Mărimea de plecare pentru astfel de calcule este densitatea trăsnetelor la sol, notată N_g, exprimată în trăsnete/km^2.an. Dacă nu există date certe din observaţii, se procedează la aproximare plecând de la indicele keraunic – numărul de zile cu furtună într-un an.

Forma generală a unor astfel de ecuaţii este:

$$N_g = kT_d^a, \tag{2}$$

unde T_d este numărul de zile din an în care apar descărcări atmosferice (indicele keraunic).

Ecuaţia, adoptată de IEEE şi de CIGRE este

$$N_g = 0{,}04T_d^{1,25} \tag{3}$$

Această ecuaţie furnizează valoarea medie a N_g. Deviaţia standard este de cca. 32% din medie.

Relaţia dintre numărul de ore de furtună dintr-un an, T_h şi densitatea trăsnetelor la sol, propusă de CIGRE, este

$$N_g = 0{,}05T_h \tag{4}$$

2 Modelul geometric a ultimului stadiu al loviturii de trăsnet

Liderul trăsnetului descendent avansează către sol până la atingerea unui punct de la care începe orientarea către obiectul lovit. Presupunând un gradient critic de străpungere a aerului la polaritatea negativă, de 605 kV/m şi un potenţial al loviturii de 50000 kV, acest punct este atins atunci când distanţa dintre vârful liderului descendent şi vârful stâlpului este de 50000/605 = 83,3 m. Admiţând că ipoteza unui gradient de 605 kV/m este corectă, este necesară o ecuaţie sau o metodă pentru estimarea potenţialului liderului descendent.

Relaţia între intensitatea curentului loviturii de trăsnet şi viteza descărcării inverse:

$$v = \frac{1}{\sqrt{1+\frac{500}{I}}} \tag{5}$$

unde ***v*** este viteza descărcării inverse în u.r. faţă de viteza luminii, iar ***I*** este amplitudinea curentului în kA. Astfel, dacă se cunoaşte amplitudinea curentului de trăsnet, se poate afla viteza descărcării inverse, iar din aceasta poate fi estimat potenţialul liderului descendent:

$$V = 120\frac{v}{1-2{,}2v^2} \tag{6}$$

unde ***v*** este viteza descărcării inverse in u.r. faţă de viteza luminii, iar potenţialul ***V*** rezultă în MV. Din potenţialul liderului se găseşte distanţa de lovire ***r*** = ***V/G*** unde ***G*** = 605 kV/m este gradientul de străpungere.

De exemplu: ***I*** = 10 kA/100 kA, ***v*** = 0,14/0,408 u.r., ***V*** = 17,55/77,35 MV, *r* = 29/128 m.

Totuşi, distanţa de lovire către stâlp sau conductoare diferă faţă de distanţa de lovire către pământ. Aceasta pare a fi evident, deoarece gradientul de străpungere pentru un interval vârf-placă (intervalul vârf lider-sol) diferă de acela al intervalului vârf-vârf (lider-stâlp). De aceea, în general sunt definite două distanţe de lovire, r_c pentru conductoarele active sau de protecţie şi r_g pentru sol.

Relaţia de calcul a distanţei de lovire are forma generală

$$r = AI^b. \tag{7}$$

Au fost propuse mai multe relaţii de calcul pentru aceste distanţe. CIGRE a adoptat ecuaţiile propuse de Brown şi Whitehead:

	r_g către pământ		r_c către conductoarele de fază sau de protecţie	
	A	*b*	*A*	*b*
Brown & Whitehead	6,4	0,75	7,1	0,75

Modelul geometric propus pentru stadiul final al loviturii de trăsnet către un conductor de protecţie, este dat în fig. 1. Construcţia se realizează astfel:

1. Se calculează distanţele de lovire r_c şi r_g pentru curentul dat ***I***.
2. Se trasează o linie paralelă cu solul la distanţa r_g de pământ.
3. Se trasează un arc de cerc de rază r_c cu centrul în vârful stâlpului până ce intersectează dreapta trasată la pct. 2.

Orice trăsnet care ajunge între punctele A şi B va lovi conductorul de protecţie, iar acelea care ajung la stânga lui A sau la dreapta lui B vor lovi solul. Astfel, fiind dată valoarea amplitudinii curentului, numărul de trăsnete care vor lovi conductorul de protecţie este

$$N(G) = 2N_g L D_g^{'} \qquad (8)$$

unde ***L*** este lungimea liniei.

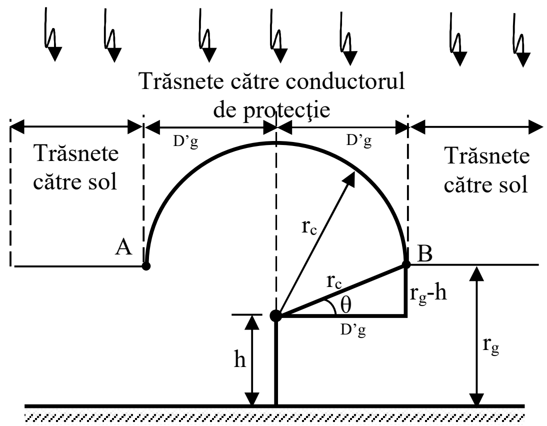

Fig. 1 Modelul geometric pentru un conductor de protecţie

Aceasta înseamnă că suprafaţa de colectare a trăsnetelor este dublul produsului dintre lungimea liniei şi lăţimea zonei D_g`. Înmulţind cu densitatea trăsnetelor la sol, se obţine numărul de lovituri. Probabilitatea de apariţie a curentului ***I*** este ***f(I)*** astfel că numărul de lovituri cu intensitatea ***I*** este

$$dN(G) = 2N_g L D_g^{'} f(I) dI \qquad (6.9)$$

iar numărul total de trăsnete care lovesc conductorul de protecţie este

$$N(G) = 2N_g L \int_3^{\infty} D_g^{'} f(I) dI \qquad (6.10)$$

Integrarea este făcută pentru toate valorile curentului de trăsnet. Totuşi, trebuie stabilită o limită inferioară pentru curentul de trăsnet, deoarece nu poate exista un trăsnet cu ***I*** = 0. Conform distribuţiei CIGRE, cel mai mic curent de trăsnet măsurat are 3 kA.

Valoarea D_g' este valabilă numai dacă $r_g > h$. Dacă $r_g < h$ atunci $D_g' = r_c$, în ipoteza trăsnetului vertical.

În cazul a două conductoare de protecţie, între care există o distanţă S_g, (fig.6.2) construcţia este similară. Numărul de trăsnete care ajung pe conductoarele de protecţie este

$$N(G) = N_g L \int_3^{\infty} \left(2D_g^{'} + S_g\right) f(I) dI \qquad (6.11)$$

6.3 Protecţia liniilor electrice aeriene împotriva trăsnetului

6.3.1 *Numărul specific de conturnări prin defect de ecran, NCDE (SFFOR)*

Amplasarea conductoarelor de protecţie are ca scop evitarea loviturilor de trăsnet asupra conductoarelor active, dar totuşi ecranarea nu poate fi totală. Astfel, se urmăreşte obţinerea unui număr specific de conturnări impus pentru lovirea directă a conductoarelor active, deşi există conductoare de protecţie. De exemplu NCDE (Numărul specific de Conturnări prin Defect de Ecran = SFFOR Shielding Failure FlashOver Rate) ar putea fi impus la 0,05 defecte/100 km.an.

Se consideră modelul general din fig.7.2, pentru cazul a două conductoare de protecţie. Pentru o valoare precizată a curentului de trăsnet, se trasează câte un arc de rază r_c de la conductorul de fază şi de la conductoarele de protecţie. Se mai trasează o orizontală la distanţa r_g

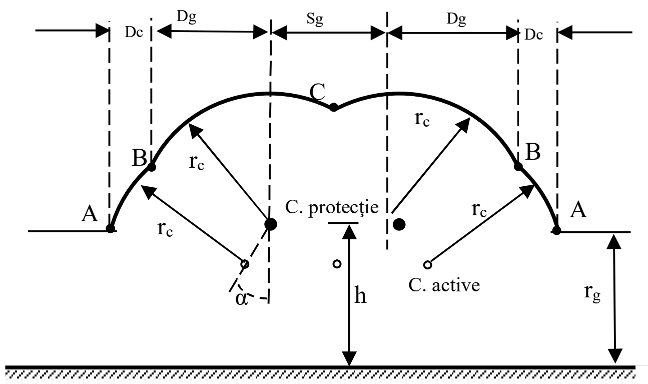

Fig.6.2 – Modelul geometric, definirea distanţelor şi unghiurilor

de suprafaţa pământului. Intersecţiile acestor arce şi intersecţia arcelor cu linia orizontală sunt notate A, B şi C. Liderii descendenţi care ating arcele între A şi B vor ajunge pe conductorul de fază. Aceiea care ajung pe arce între B şi C vor ajunge pe conductorul de protecţie, iar cei care ajung dincolo de A vor lovi pământul.

Considerând numai trăsnete verticale, în fig.7.2 se definesc distanţele de expunere D_c şi D_g pentru conductorul activ şi respectiv, de protecţie. Numărul de trăsnete care ating conductorul de fază, NDE (Numărul de Defecte de Ecran), este dat de suprafaţa având laturile D_c şi lungimea liniei, L, înmulţită cu densitatea de trăsnete la sol şi cu 2:

$$NDE = 2N_g L D_c \tag{6.12}$$

Probabilitatea de incidenţă a curentului este $f(I)dI$, astfel că incrementul defectului de ecran, d(NDE) este

$$d(NDE) = 2N_g L D_c f(I)dI \tag{6.13}$$

iar NDE pentru toate valorile curentului este

$$NDE = 2N_g L \int_3^{I_m} D_c f(I)dI \tag{6.14}$$

I_m este curentul maxim peste care trăsnetele nu mai ajung pe conductorul activ.

În fig. 7.2 se observă că, crescând ampliudinea curentului de trăsnet, raza de lovire a conductoarelor creşte, astfel că punctul B se mută spre punctul A. Atunci când cele două puncte se suprapun, trăsnetul nu mai poate lovi conductorul activ. Curentul de trăsnet corespunzător este notat cu I_m. Orice trăsnet având amplitudinea curentului mai mare decât I_m poate lovi conductoarele de protecţie sau solul.

În fig.7.2 este notat cu α unghiul de protecţie al conductorului activ. Dacă conductorul activ este astfel poziţionat încât trăsnetul nu poate atinge conductorul activ, oricare ar fi intensitatea curentului de trăsnet, protecţia este totală, iar α este **unghiul de protecţie perfectă**.

NDE este numărul de trăsnete care ajung pe conductorul de fază. Nu toate aceste lovituri produc conturnări. Totuşi, dacă tensiunea produsă de trăsnet pe conductor depăşeşte U_{50}, apare o conturnare. Astfel NDE include şi trăsnetele care produc defecte şi pe acelea care nu produc defecte. Pentru a determina numărul de conturnări, se ţine seama că tensiunea pe conductor şi pe izolaţia liniei este

$$E = I\frac{Z_c}{2} \tag{6.15}$$

unde Z_c este impedanţa caracteristică a conductorului de fază. Dacă tensiunea E este egală cu U_{50}, polaritate negativă, atunci curentul critic la care şi peste care apare conturnarea este

$$I_c = \frac{2(U_{50})}{Z_c} \tag{6.16}$$

Revizuind ecuaţia pentru NDE, se obţine NCDE

$$NCDE = 2N_g L\int_{I_c}^{I_m} D_c f(I)dI \tag{6.17}$$

6.3.2 Metoda simplificată pentru calculul NCDE

Ecuaţiile prezentate trebuie rezolvate prin integrare numerică. O aproximare foarte bună pentru calculul NCDE afost propusă de J.G. Anderson. Observând că valoarea D_c este zero dacă $I = I_m$, Anderson a propus ca valoarea medie a distanţei D_c în intervalul I_c .. I_m este jumătate din valoarea D_c pentru $I = I_c$. Mai concret, dacă D_{cc} este valoarea lui D_c pentru I_c, atunci, deoarece D_{cc} este considerat constant, el poate fi scos de sub integrală, adică:

$$\begin{aligned} NCDE &= 2N_g L\frac{D_{cc}}{2}\int_{I_c}^{I_m} f(I)dI = 2N_g L\frac{D_{cc}}{2}P(I_m \ge I \ge I_c) \\ &= 2N_g L\frac{D_{cc}}{2}\left[F(I_m) - F(I_c)\right] = 2N_g L\frac{D_{cc}}{2}\left[Q(I_c) - Q(I_m)\right]. \end{aligned} \tag{6.18}$$

unde

$$Q(I) = 1 - F(I) \tag{6.19}$$

Dacă nu se dispune de un tabel pentru distribuţia normală, o aproximare a distribuţiei cumulative CIGRE este:

Domeniul de curent, kA	Ecuaţia aproximativă
3 .. 20	$Q = 1 - 0{,}31e^{-\frac{Z^2}{1{,}6}}$
20 .. 60	Q = 0,5+0,35Z

60 .. 200	$Q = 0{,}278 e^{-\frac{Z^2}{1{,}7}}$

Z este

$$Z = \frac{\ln I - \ln M_1}{\beta_1} = \frac{\ln I / M_1}{\beta_1} \qquad (6.20)$$

Valoarea mediană şi abaterea standard ale distribuţiei CIGRE sunt:

Domeniul de curent, kA	Media M_1	β_1
3 .. 20	61,1	1,33
> 20	33,3	0,605