

## INSTALAȚIA DE LEGARE LA PĂMÂNT

### 6.1. Generalități

*Instalațiile de legare la pământ* se folosesc pentru asigurarea unei exploatari normale, fără pericole a instalațiilor și echipamentelor electrice. Dintre funcțiile importante amintim:

- asigurarea siguranței personalului de deservire și ale persoanelor care pot atinge părțile metalice ale instalațiilor electrice care nu sunt sub tensiune dar care în mod accidental pot fi puse sub tensiune, precum și a persoanelor care circulă în apropierea acestora; se urmărește realizarea deconectării rapide a sectorului în care a apărut defectul și limitarea tensiunii de atingere și de pas sub valorile admise;
- legarea la pământ a punctelor neutre ale unor rețele trifazate;
- realizarea protecției împotriva supratensiunilor atmosferice sau de circulație (interne);
- legarea la pământ temporară a unor elemente care fac parte din căile de curent, pentru a proteja personalul care face revizii și reparații împotriva electrocutărilor produse prin descărcarea unor sarcini capacitive sau apariția unei tensiuni neprevăzute în instalația respectivă.

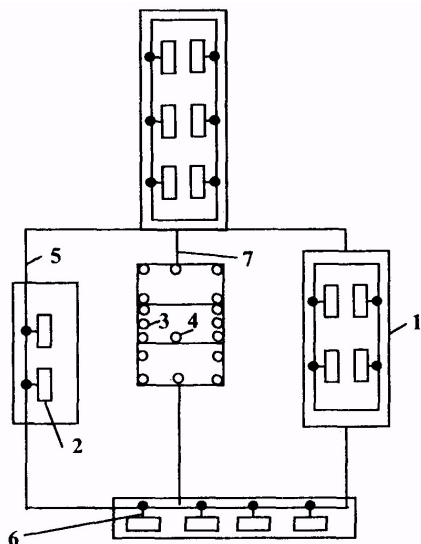
*Tensiunea de atingere* este partea din tensiunea unei instalații de legare la pământ la care este supus omul aflat la o distanță de 0,8 m față de obiectul atins.

*Tensiunea de pas* se înțelege partea din tensiunea unei instalații de legare la pământ la care este supus omul atunci când atinge două puncte de pe sol situate la distanță de 0,8 m între ele.

### 6.2. Elementele componente ale instalației de legare la pământ

De obicei, o instalație de legare la pământ de protecție este formată din următoarele elemente:

- priza de pământ formată din unul sau mai mulți electrozi;
- conductoarele de legătură dintre electrozi;
- conductorul principal de legare la pământ;
- conductoarele de ramificație de la conductorul principal la echipamentele electrice legate la pământ;
- conductorul de legătură dintre priza de pământ și conductorul principal de legare la pământ;
- piese de separare destinate separării prizei de pământ pentru măsurarea rezistenței sale.



**Fig. 6.1. Alcătuirea unei instalații de legare la pământ de protecție**

- 1 – construcție; 2 – echipament electric;
- 3 – electrod; 4 – conductor de legătură între electrozi;
- 5 – conductor principal de legare la pământ;
- 6 – conductor de ramificație; 7 – conductor de legătură între prize de pământ și conductorul principal de legare la pământ a rețelei.

O priză de pământ se compune din unul sau mai mulți electrozi în contact cu pământul și conductoare de legătură dintre electrozi.

**Priza de pământ fiind elementul principal al instalației de legare la pământ, la alegerea și dimensionarea electrozilor și a conductoarelor de legătură se va avea în vedere limitarea rezistenței electrice  $R_p$  a acesteia, deoarece de valoarea lui  $R_p$  depinde direct tensiunea instalației de legare la pământ și deci tensiunile de atingere și de pas.**

*Rezistența electrică a prizei se compune din: rezistența electrozilor și a conductoarelor de legătură, rezistența de contact între electrozi și sol și rezistența solului la trecerea curentului de defect.*

Este indicat să fie amplasate prizele de pământ în soluri cu umiditate ridicată, în unele cazuri se introduce în sol o soluție de săruri.

### 6.3. Clasificarea prizelor de pământ

Din punct de vedere constructiv prizele de pământ se împart în: prize naturale și prize artificiale.

*Prizele naturale* constau din diverse construcții metalice care au contact electric cu pământul, stabil și de rezistență redusă cum sunt: conductele de apă; armături metalice ale construcțiilor din beton armat, stâlpilor, fundațiilor, etc.;

*Prizele artificiale* se prevăd atunci când valoarea rezistenței de dispersie a prizelor naturale nu corespunde valorilor impuse.

După modul de realizare prizele artificiale pot fi:

- prize de pământ verticale care se realizează de obicei din țevă zincată pentru a preîntâmpina coroziunea.
- prize de pământ orizontale care se utilizează când straturile de la suprafața solului au o rezistivitate mai mică. Electrozii sunt din bandă sau profile rotunde.

Prizele naturale și prizele artificiale pot fi:

- singulare – constituite dintr-un singur electrod vertical sau orizontal fiind rar întâlnite deoarece nu realizează rezistența cerută de norme;
- multiple – sunt realizate prin utilizarea mai multor electrozi de același fel;
- complexe – obținute din prize multiple verticale și orizontale.

### 6.4. Algoritm de dimensionare a unei instalații de legare la pământ

Se va dimensiona conform normelor în vigoare, instalația de legare la pământ a unei stații de interconexiune 400/220/20 kV.

Se cunosc următoarele date:

- $n=7$  - numărul de linii electrice aeriene din stație (6 linii + 1 linie scurtă);
- suprafața de teren ocupată de stație (îngrădită)  $L \times l = 336 \text{ m} \times 106 \text{ m}$  ;
- $x=3 \text{ m}$  - distanța la care este situată priza complexă față de gardul (îngrădirea) stației;
- $l_b=10 \text{ m}$  - lungimea electrodului orizontal (prizei orizontale singulare sau benzii îngropate);
- $l_v=3 \text{ m}$  - lungimea electrodului vertical (prizei verticale singulare sau țarușului);
- $d=63,5 \text{ mm}$  - diametrul electrodului vertical (prizei verticale singulare sau țarușului) ( $1 \text{ țol} = 1 \text{ inch} = 25,4 \text{ mm}$ );
- $h_v=0,6 \text{ m}$  - adâncimea de îngropare a electrodului vertical (prizei verticale singulare sau țarușului);
- $h_b=0,8 \text{ m}$  - adâncimea de îngropare a electrodului orizontal (prizei orizontale singulare sau benzii îngropate);
- $b=8 \cdot 10^{-3} \text{ m}$  - lățimea electrodului orizontal singular (benzii de legătură);
- $a \times b = (50 \times 8) \text{ mm}^2$  secțiunea transversală a electrodului orizontal singular (benzii de legătură);

- $y=4$  m - distanța la care este situată priza de dirijare a distribuției potențialului față de priza contur;
- $h_d=0,4$  m - adâncimea de îngropare a prizei de dirijare a distribuției potențialului ( $h_d < h_v < h_b$ );
- $d_d= 12$  sau  $6$  m - distanța între conductoarele principale de legare la pământ a prizei de dirijare a distribuției potențialului ( $12$  m) dispuse perpendicular pe lungimea stației. După rețehnologizare s-a prevăzut îndesirea benzilor de oțel zincat prin montarea de benzi noi de oțel zincat, la distanțe de  $6$  m de benzile existente;
- $a_d \times b_d = (50 \times 8)$  mm<sup>2</sup> - secțiunea transversală a benzilor de legătură din oțel zincat care alcătuiesc rețeaua de dirijare a distribuției potențialelor;
- $z= 4$  - numărul pieselor de separație prevăzute între priza de contur și priza de dirijare a distribuției potențialului;
- $\rho=62$  [ $\Omega \cdot m$ ] - rezistivitatea solului (valoare măsurată prin metoda celor 4 electrozi, făcându-se sondaje până la adâncimea de aproximativ  $2$  m, corespunzătoare adâncimii medii a electrozilor prizei);
- $r_{LEA}= 2,4$  [ $\Omega/linie$ ] - rezistența de dispersie a prizelor de legare la pământ ale LEA (fir de gardă și prize stâlp);
- $I_p=I_{sc1}^{tot}= 35,58$  kA - curentul maxim de punere la pământ (curentul de scurtcircuit monofazat pe barele stației de  $220$  kV);
- $t_f$  - timpul total de lucru al protecției și întreruptoarelor de protecție;
- platbandă din oțel zincat pentru conductoarele de ramificație  $S_{rSTAS}= 2 \times (50 \times 6)$  mm<sup>2</sup>;
- platbandă din oțel zincat pentru conductoarele principale  $S_{pSTAS}= 40 \times 5$  mm<sup>2</sup>;  $50 \times 6$  mm<sup>2</sup>.

### Realizarea unei prize de împământare complexă

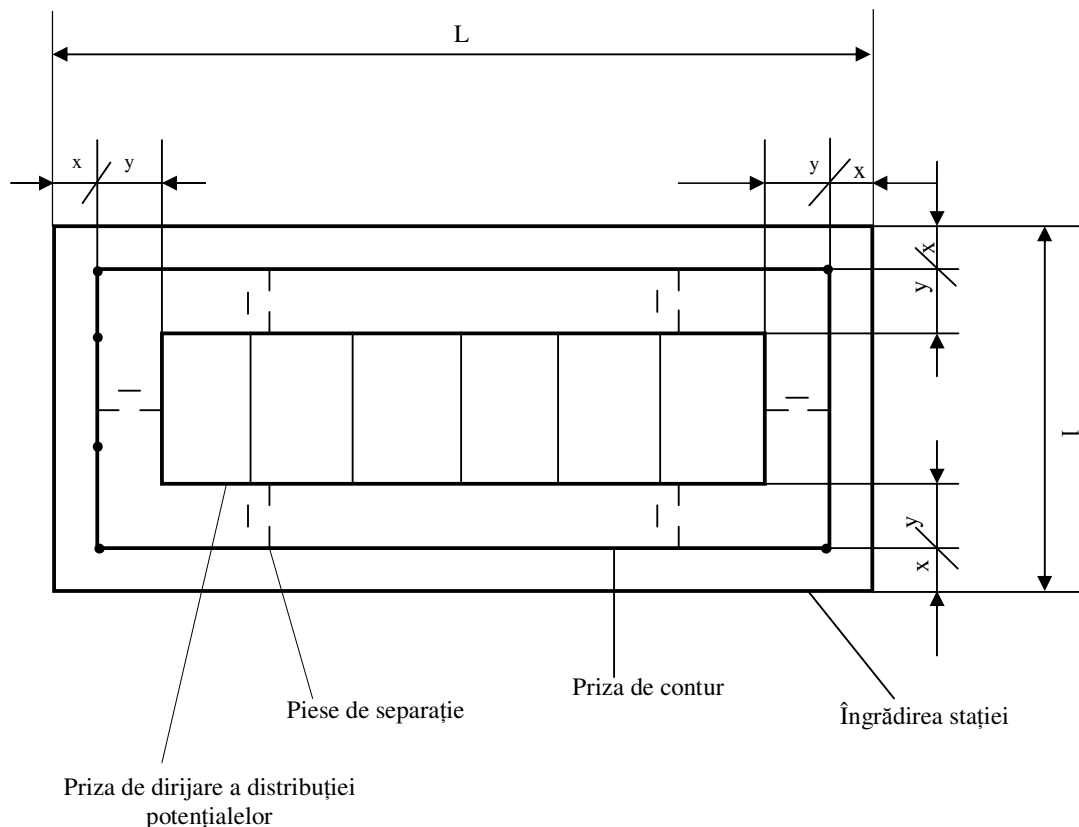


Fig. 6.2. Priză de împământare complexă

**a. Un contur de prize verticale** (țăruș), amplasate în interiorul gardului stației la  $x=3$  m față de gard, amplasate la distanța  $l_b=10$  m, una față de alta.

Se calculează numărul de electrozi verticali (prize verticale) :

$$n_v = \frac{2 \times [(L - 2 \times x) + (1 - 2 \times x)]}{l_b}$$

Electrozii verticali sunt legați între ei cu ajutorul unei platbande de oțel, ce constituie conductoarele de legătură, îngropate la adâncimea de  $h_b=0,8$  m.

**b. Priza de dirijare a distribuției potențialului** se prevede în interiorul prizei contur, la o distanță de  $y=4$  m de aceasta, îngropată la adâncimea  $h_d=0,4$  m.

Se calculează suprafața ocupată de priza de dirijare a distribuției potențialului:

$$S = [(L - 2 \times x - 2 \times y) \times (1 - 2 \times x - 2 \times y)]$$

Conductoarele principale de legare la pământ a prizei de dirijare a distribuției potențialului sunt dispuse la distanța  $d_d=6$  m unul de altul, perpendicular pe lungimea prizei de contur.

Se calculează numărul echivalent al conductoarelor principale de legare la pământ a prizei de dirijare a distribuției potențialului:

$$n_d = \frac{1 - 2 \times x - 2 \times y}{d_d} + 1$$

Între priza de contur și priza de dirijare a distribuției potențialului se vor prevedea  $z=4$  legături prin intermediul pieselor de separație.

### c. Determinarea rezistenței de dispersie a prizelor

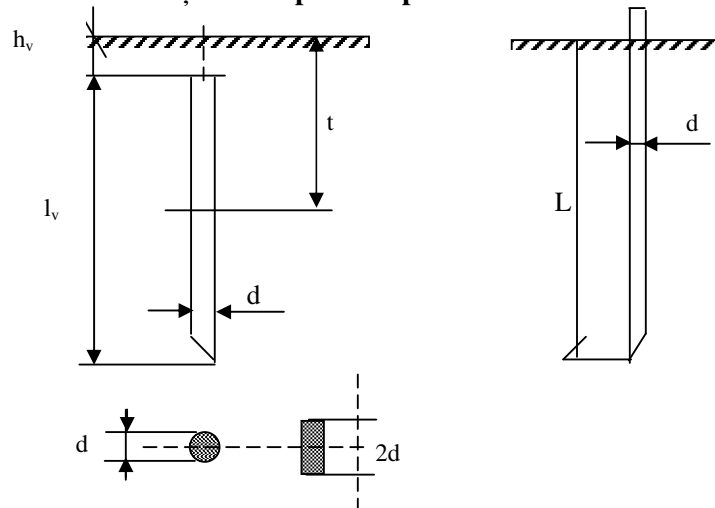


Fig. 6.3. Priză verticală singulară (țăruș)

**d. Rezistența unei prize verticale singulare** se determină cu relațiile :

$$r_v = 0,366 \frac{\rho}{l_v} \left( \lg \frac{2l_v}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t + l_v}{4t - l_v} \right) \quad [\Omega]$$

sau

$$r_v = \frac{\rho}{2\pi l_v} \left( \ln \frac{2l_v}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t + l_v}{4t - l_v} \right) \quad [\Omega]$$

unde:

$$t = h_v + \frac{l_v}{2} \quad [\text{m}]$$

Rezistența prizei verticale multiple (a tuturor prizelor verticale),  $R_v$

$$R_v = \frac{r_v}{n_v} \cdot \frac{1}{u_v} \quad [\Omega]$$

unde:

$n_v = 86$  - numărul de electrozi verticali

$u_v$  - coeficientul de utilizare a electrozilor verticali conform tabelului 9.1 (se va determina prin **interpolare liniară**) după ce s-a determinat raportul  $l_b/l_v$ .

$n_v$	$u_v$
$n_{v1} = 60$	$u_{v1} = 0,62$
$n_{v2} = 100$	$u_{v2} = 0,60$

$$u_v = u_{v2} + \frac{(u_{v1} - u_{v2})(n_{v2} - n_v)}{n_{v2} - n_{v1}}$$

**Tabelul 6.1. Coeficienții de utilizare pentru electrozii verticali**

Așezare în rând			Așezare în contur			Observații
$l_b/l_v$	$n_v$	$u_v$	$l_b/l_v$	$n_v$	$u_v$	Se vor considera pentru $u_v$ valorile minime
1	2	<b>0,84...0,87</b>	1	4	<b>0,66...0,72</b>	
2	2	<b>0,90...0,92</b>	2	4	<b>0,76...0,80</b>	
3	2	<b>0,93...0,95</b>	3	4	<b>0,84...0,86</b>	
1	3	<b>0,76...0,80</b>	1	6	<b>0,58...0,65</b>	
2	3	<b>0,85...0,88</b>	2	6	<b>0,71...0,75</b>	
3	3	<b>0,90...0,92</b>	3	6	<b>0,78...0,82</b>	
1	5	<b>0,67...0,72</b>	1	10	<b>0,52...0,58</b>	
2	5	<b>0,79...0,83</b>	2	10	<b>0,56...0,71</b>	
3	5	<b>0,85...0,88</b>	3	10	<b>0,74...0,78</b>	
1	10	<b>0,50...0,62</b>	1	20	<b>0,41...0,50</b>	
2	10	<b>0,72...0,77</b>	2	20	<b>0,61...0,66</b>	
3	10	<b>0,79...0,83</b>	3	20	<b>0,68...0,73</b>	
1	15	<b>0,51...0,56</b>	1	40	<b>0,38...0,44</b>	
2	15	<b>0,66...0,73</b>	2	40	<b>0,55...0,61</b>	
3	15	<b>0,76...0,80</b>	3	40	<b>0,64...0,69</b>	
1	20	<b>0,47...0,50</b>	1	60	<b>0,36...0,42</b>	
2	20	<b>0,65...0,70</b>	2	60	<b>0,52...0,58</b>	
3	20	<b>0,76...0,76</b>	3	60	<b>0,62...0,67</b>	
1				100	<b>0,35</b>	
2				100	<b>0,50</b>	
3				100	<b>0,60</b>	

**e. Rezistența unei prize orizontale singulare** (de legătură) se determină cu relațiile :

$$r_b = 0,366 \frac{\rho}{l_b} \lg \frac{2 \cdot l_b^2}{b \cdot h_b} \quad [\Omega] \quad \text{sau} \quad r_b = \frac{\rho}{2\pi \cdot l_b} \lg \frac{2 \cdot l_b^2}{b \cdot h_b} \quad [\Omega]$$

În cazul benzilor orizontale de profile diferite, simple sau în contur închis, îngropate la adâncimea  $h_b$  în sol, relația generală de calcul este:

$$r_b = \frac{\rho}{2\pi \cdot l_b} \left( \ln \frac{l_b^2}{d \cdot h_b} + A \right) = \frac{\rho}{2\pi \cdot l_b} \ln \frac{k \cdot l_b^2}{d \cdot h} \quad [\Omega]$$

$A = \ln k$  este un coeficient ce ține seama de forma prizei orizontale; pentru bandă de secțiune dreptunghiulară  $k=1$ .

$$d = \frac{b}{2} = \frac{0,008}{2} = 0,004 \text{ m} - \text{diametrul electrodului orizontal} - \text{pentru banda de lățime}$$

(dimensiunea cea mică a secțiunii dreptunghiulare  $b$ ).

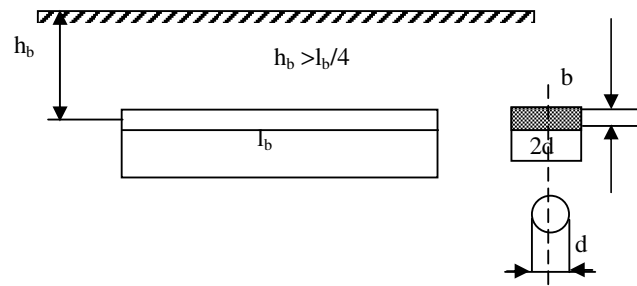


Fig. 6.4. Priză orizontală singulară (bandă)

f. Rezistența prizei orizontale multiple (a întregii prize platbandă de legătură),  $R_b$

$$R_b = \frac{r_b}{n_b} \cdot \frac{1}{u_b} = \frac{10,1997}{86} \cdot \frac{1}{0,339} \quad [\Omega]$$

unde:

$n_b = n_v = 86$  - (în cazul așezării pe contur închis);

$u_b$  - coeficientul de utilizare a electrozilor orizontali conform tabelului 9.2 (se va determina prin interpolare liniară) după ce s-a determinat raportul  $l_b/l_v$ .

$n_b$	$u_b$
$n_{b1} = 70$	$u_{b1} = 0,35$
$n_{b2} = 100$	$u_{b2} = 0,33$

$$u_b = u_{b2} + \frac{(u_{b1} - u_{b2})(n_{b2} - n_b)}{n_{b2} - n_{b1}}$$

Tabelul 6.2. Coeficienții de utilizare pentru electrozii orizontali (benzi de legătură)

Așezare în rând $l_b/l_v$	Numărul electrozilor verticali (tuburilor) în rând								
	4	5	8	10	20	30	50	65	100
1	0,77	0,74	0,67	0,62	0,40	0,31	0,21	0,20	-
2	0,89	0,86	0,79	0,75	0,56	0,46	0,36	0,34	-
3	0,92	0,90	0,85	0,82	0,68	0,58	0,49	0,47	-
Așezare în contur $l_b/l_v$	Numărul electrozilor verticali (tuburilor) în contur								
	4	6	8	10	20	30	50	70	100
1	0,45	0,40	0,36	0,34	0,27	0,24	0,21	0,20	0,19
2	0,55	0,48	0,43	0,40	0,32	0,30	0,28	0,26	0,24
3	0,70	0,64	0,60	0,56	0,45	0,41	0,37	<b>0,35</b>	<b>0,33</b>

g. Rezistența prizei de dirijare a distribuției potențialului (priză de tip rețea fără electrozi verticali, suficient de deasă),  $R_{dp}$ , în sol omogen se poate calcula cu o eroare de  $\pm 10\%$ , cu relația:

$$R_{dp} = (0,5 \dots 0,7) \frac{\rho}{\sqrt{S}} = 0,6 \frac{62}{\sqrt{29624}} \quad [\Omega]$$

unde :

$S=29624 \text{ m}^2$  - suprafața rețelei (ocupată de prizele de dirijare a distribuției potențialului)

h. Rezistența echivalentă a firelor de gardă și prizele stâlpilor LEA

$$R_{LEA} = \frac{r_{LEA}}{n} = \frac{2,4}{7} \quad [\Omega]$$

$n$  - numărul de linii electrice aeriene din stație;

$r_{LEA} = 2,4 \Omega/\text{linie}$  - rezistența de dispersie a prizelor de legare la pământ ale LEA (liniilor electrice aeriene) (fir de gardă și prize stâlp) în funcție de tipul LEA (tensiunea nominală, simplu sau dublu circuit)

**Tabelul 6.3. Rezistența de dispersie a prizelor de legare la pământ ale LEA**

	Tensiunea nominală [kV]	
	110	220
$r_{LEA}[\Omega/\text{linie}]$		
Cu simplu circuit		2,4
Cu dublu circuit	1,2 $\Omega$ / 1 circuit	

**i. REZISTENȚA DE DISPERSIE A ÎNTREGII INSTALAȚII DE LEGARE LA PĂMÂNT** (împământare), rezultă din relația :

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_v} + \frac{1}{R_b} + \frac{1}{R_{dp}} + \frac{1}{R_{LEA}}$$

$R_{p\text{admisibil}} = 0,3 \Omega$  - limita orientativă indicată în 3RE-I23-1988 „Instrucțiuni pentru exploatarea și întreținerea instalațiilor de legare la pământ”.

**j. Dimensionarea conductoarelor de legare la pământ**

În aprecierea stabilității termice a prizei trebuie luate în considerare și conductoarele metalice ale prizei. Acestea nu trebuie să depășească temperatura de 200° C, în medii cu pericol de incendiu și de 300° C, în cazul în care nu există acest pericol.

*Conductoarele de ramificație* se dimensionează la curentul total de punere la pământ (pentru conductor din oțel) :

$$S_r \geq S_{r\text{admisibil}} = \frac{I_p \sqrt{t_f}}{j} \quad [\text{mm}^2]$$

$$\Rightarrow t_f = \left( \frac{S_r \cdot j}{I_p} \right)^2$$

unde :

$I_p = I_{sc1}^{\text{tot}} = 35580 \text{ A}$  - curentul maxim de punere la pământ;

$t_f$  - timpul total de lucru al protecției și întreruptoarelor de protecție (aproximativ timpul de lucru al protecției de rezervă);

$j[\text{A}/\text{mm}^2]$  - densitatea de curent maximă admisibilă în conductoarele de legare la pământ, în cazul scurtcircuitelor, care se determină (acoperitor) cu relația:

➤ pentru conductoare din oțel :

$$j = \frac{66}{\sqrt{t}} \left[ \frac{\text{A}}{\text{mm}^2} \right]$$

Se va alege platbandă din oțel zincat  $S_{r\text{STAS}} \times \text{mm}^2 \geq S_r[\text{mm}^2]$

*Conductoarele principale de legătură*, constituind circuite buclate, se dimensionează la jumătate din circuitul de punere la pământ :

$$S_p \geq S_{p\text{admisibil}} = \frac{S_{r\text{admisibil}}}{2} = \frac{I_p \cdot \sqrt{t_f}}{2 \cdot j} \quad [\text{mm}^2]$$

Se va alege platbandă din oțel zincat  $S_{p\text{STAS}} = (50 \times 6) \text{ mm}^2 \geq S_{p\text{admisibil}} [\text{mm}^2]$

$$\Rightarrow t_f = \left( \frac{2 \cdot S_p \cdot j}{I_p} \right)^2 \quad [\text{s}]$$

Cealaltă secțiune existentă pentru conductoarele principale:

$S_p = 40 \times 5 = 200 \text{ mm}^2 < S_{p \text{ admisibil}} [\text{mm}^2]$  deci nu verifică condiția

$$\Rightarrow t_f = \left( \frac{2 \cdot S_p \cdot j}{I_p} \right)^2$$

### k. Verificarea la stabilitate termică

O priza de pământ este stabilă termic atunci când, în oricare din condițiile de exploatare pentru care a fost proiectată nu dă naștere în nici un punct al solului unor temperaturi mai mari de  $100^\circ \text{C}$ .

Pentru a avea un coeficient de siguranță, se admite ca temperatura maximă în sol să nu depășească  $(85 \dots 90)^\circ \text{C}$ .

În regim tranzitoriu, se calculează suprafața necesară unei prize pentru a putea suporta regimul de scurtcircuit.

În mod acoperitor (pentru acoperire) se ia în calcul numai priza contur de pământare, suprafața laterală a acestei prize trebuind să satisfacă condiția:

$$S_{\text{lat}} \geq \alpha I_p \sqrt{\rho \cdot t_f} \cdot 10^{-4} \quad [\text{m}^2]$$

unde :

$\alpha = 1,2$  - este un coeficient de ecranare.

Se calculează suprafața laterală a prizei contur, ținând seama de coeficienții de utilizare  $u_v$  și  $u_b$ :

$$S_{\text{lat}} = n_v u_v S_v + n_b u_b S_b = n_v \cdot u_v \cdot \pi \cdot d \cdot l_v + n_b \cdot u_b \cdot l_b (a + b) \quad [\text{m}^2]$$

$a \times b = (50 \times 8) \text{ mm}^2$

În regim termic stabilizat, priza va fi stabilă termic dacă se îndeplinește condiția:

$$U_{\text{p regim termic stabilizat}} [\text{V}] \leq \sqrt{2\lambda\rho(\theta_f - \theta_i)}$$

unde :

$\lambda$  = conductibilitatea termică a solului, ( $\lambda = 1,2 \text{ W / m }^\circ \text{C}$ );

$\theta_f$  = temperatura finală a solului ( $\theta_f = \max \text{ im } (85 \dots 90)^\circ \text{C}$ );

$\theta_i$  = temperatura inițială a solului ( $\theta_i = 35^\circ \text{C}$ ).

Se poate determina valoarea rezistenței de dispersie a prizei, care corespunde din punct de vedere al regimului termic stabilizat:

$$R_{\text{p regim termic stabilizat}} = \frac{U_{\text{p regim termic stabilizat}}}{I_p} \quad [\Omega]$$

### l. Determinarea tensiunilor de atingere și de pas

O priză de pământ este corect dimensionată dacă tensiunile de atingere și de pas se încadrează în valorile prescrise de norme (tabelul 9.4).

**Tabelul 6.4. Tensiunile de atingere și de pas maxim admisibile pentru instalații și echipamente peste 1000V**

Nr. crt.	Categoria instalației și a echipamentului	Timpul de întrerupere a curentului de punere la pământ prin priză, în secunde						
		0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	$\geq 0,8$ dar $< 30$
I	Zone cu circulație frecventă	125	100	85	80	75	79	<b>65</b>
II	Zone cu circulație redusă	250	200	165	150	140	130	<b>125</b>
III	Zone cu circulație redusă, în care se folosesc mijloace individuale de protecție	500	400	330	300	280	260	<b>230</b>

În interiorul stației, în zona prizei de dirijare a distribuției potențialului:



$$K_{at} = \frac{0,7}{\frac{1}{2\pi} \left( \ln \frac{L_d^2}{d_{dp} \cdot h_d} + 2A \right)}$$

unde :

$L_d = n_d \cdot (L - 2 \times x - 2 \times y)$  [m] - lungimea însumată a electrozilor paraleli echivalenți ce alcătuiesc priza (orizontală) de dirijare a distribuției potențialului;

$$d_{dp} = \frac{b_d}{2} \quad [\text{m}]$$

$h_d = 0,4$  m - adâncimea de îngropare a prizei de dirijare a distribuției potențialului ( $h_d < h_v < h_b$ ).

$$A = \ln \frac{(L - 2 \times x - 2 \times y)^{2n_d - 1}}{d_d^{2n_d - 3} \cdot L_d^2 \left[ \left( \frac{n_d}{2} - 1 \right)! \right]^2 (n_d - 1)!}$$

$$U_{at} = U_{pas}^{max} = K_{at} \cdot U_p \quad [\text{V}]$$

unde:

$$U_p \quad [\text{V}] = I_p \cdot R_p$$

Se compară cu valorile tensiunilor de atingere și de pas maxim admisibile, pentru stație cu circulație redusă (conform tabelului 6.4).

$$U_{at} \quad [\text{V}] = U_{pas}^{max} \leq U_{pas \text{ admis}}$$

La marginile prizei, în afara prizei dar în imediata ei apropiere, când priza de dirijare a distribuției potențialului are formă de plasă:

$$k_{pas} = \frac{k_s \cdot k_i}{\frac{1}{2\pi} \left( \ln \frac{L_d^2}{d_{dp} \cdot h_d} + 2A \right)}$$

unde :

$$k_i = 0,65 + 0,172 \cdot n_d$$

$$k_s = \frac{1}{\pi} \left[ \frac{1}{2 \cdot h_b} + \frac{1}{d_d + h_b} + \frac{1}{2 \cdot d_d} + \frac{1}{3 \cdot d_d} + \dots + \frac{1}{(n_d + 1) \cdot d_d} \right]$$

$$U'_{at} \quad [\text{V}] = U_{pas}^{max'} \quad [\text{V}] = k_{pas} \cdot U_p$$

Trebuie verificată condiția de mai jos, când în zona periferică a stației va trebui să se circule foarte rar (când  $U'_{pas \text{ admis}} = 230 \text{ V}$ ) sau să se folosească mijloace individuale de protecție.

$$U_{pas}^{max} \leq U'_{pas \text{ admis}} \quad [\text{V}]$$

### **m. Transformarea zonei periferice a stației într-o zonă cu circulație frecventă**

**Izolarea amplasamentelor** instalațiilor electrice se aplică în cazul în care tensiunile de atingere  $U'_{at}$  [V] și de pas  $U_{pas}^{max'}$  [V] rezultate în urma dirijării distribuției potențialelor, depășesc valorile tensiunilor de atingere  $U_{at}$  [V] și de pas  $U_{pas}$  [V] maxim admise de norme.

Pentru zone cu circulație frecventă, tensiunea de pas sau de atingere admisă, conform normelor (tabelul 6.4) este:  $U_{at} = U_{pas} = 65 \text{ V}$

Tensiunea de pas și respectiv de atingere rezultată din calcule, este la periferia stației,

$$U'_{at} \quad [\text{V}] = U_{pas}^{max'} \quad [\text{V}] = 122,315 \text{ V}$$

Rezistența de izolare a amplasamentului  $R_d$ , pentru stații exterioare, considerând materialele de izolare în condiții de umiditate excesivă, trebuie să satisfacă relația:

$$R_d \geq 6 \cdot \left( \frac{U'_{at}}{U_{at}} - 1 \right) \text{ [k}\Omega\text{]}$$

Alegerea materialului de acoperire, ca și grosimea stratului de acoperire se stabilește cu ajutorul relației :

$$R_d \text{ [k}\Omega\text{]} = \frac{\rho'}{2} \left( \frac{h}{600} - \frac{1}{55 \cdot 2 \cdot \chi} \right) \cdot 10^{-3}$$

unde :

$\rho' \text{ [}\Omega \cdot \text{cm}\text{]}$  = (rezistivitatea materialului izolat în condiții de umiditate)

Ca material pentru izolarea amplasamentului, se folosește piatra sfărâmată (macadam):

$\rho' \text{ [}\Omega \cdot \text{cm}\text{]} = 50 \cdot 10^4$  ;  $h = 15 \dots 20 \text{ cm}$ .

$h \text{ [cm]}$  - grosimea stratului de izolare.

$\chi = \frac{\rho' \text{ [}\Omega \cdot \text{cm}\text{]}}{\rho \text{ [}\Omega \cdot \text{m}\text{]} \cdot 10^2}$  - raportul dintre rezistivitatea materialului izolat (macadam) și rezistivitatea solului.

Grosimea stratului de material izolat se calculează cu relația :

$$h = 600 \cdot \left( \frac{2 \cdot R_d \text{ [k}\Omega\text{]}}{\rho' \text{ [}\Omega \cdot \text{cm}\text{]} \cdot 10^{-3}} + \frac{1}{55 \cdot 2 \cdot \chi} \right) \text{ [cm]}$$

Pentru dimensionarea instalația de legare la pământ a unei stații de interconexiune s-a realizat un program de calcul în Visual Basic 6.0 al prețului energiei electrice și deci stabilirea tarifului optim în funcție de consum.

**DIMENSIONAREA INSTALATIEI DE LEGARE LA PAMANT**

**DIMENSIONAREA ILP A UNEI STATII ELECTRICE**

Rezistența prizei orizontale și verticale		Verificarea la stabilitatea termica	
Numarul de linii electrice	n = 7	Distanța între conduct. principale	dd = 6 m
Lungimea stației	L = 336 m	Lungimea electrozilor verticali	lv = 3 m
Latimea stației	l = 106 m	Adâncime de îngropare a electr. vert.	hv = 0,6 m
Distanța prizei față de gard	x = 3 m	Diametrul electrodului vertical	d = 0,0635 m
Lungimea electrozilor orizontali	lb = 10 m	Rezistivitatea măsurată a solului	$\rho_{mas}$ = 62 $\Omega \cdot m$
Adâncime de îngropare a electrozilor orizon.	hb = 0,8 m	Latimea electrodului orizontal singular	b = 0,008 m
Distanța priza dirijare-priza de contur	y = 4 m	Coef. de variație a rezistivității solului	$\Psi$ = 1 m
Adâncime de îngropare a prizei de dirijare	hd = 0,4 m		

Numarul de electrozi verticali Calcul nv = 86 Se aleg ---> 86 electrozi	Rezistența unei prize verticale singulare Calcul t = 2,1 m $\rho_{calc}$ = 62 $\Omega \cdot m$	Rezistența prizei orizontale singulare <input checked="" type="radio"/> priza orizontala singulara (de legatura) k - coef. care tine sema de forma prizei 0 <input type="radio"/> priza cu benzi orizontale de profile diferite rb = 10,2 $\Omega$
Priza de dirijare a distribuției potențialului Calcul S = 29624 m <sup>2</sup>	Rezistența unei prize verticale singulare rv = 16,169 $\Omega$	Rezistența prizei orizontale multiple Calcul Rb = 0,35 $\Omega$
Numarul echiv. al conductoarelor principale de legare la pamant a prizei de distribuției potențialului Calcul nd = 16,3333333 Se aleg ---> 16 electrozi	Rezistența prizei verticale multiple Calcul Rv = 0,31 $\Omega$	Rezistența prizei de dirijare a distrib. potențialului Coeficient între 0,5...0,7 wp = 0,6 Calcul Rdp = 0,216 $\Omega$

**Rezistența prizei verticale multiple**

In functie de raportul  $\frac{l_b}{l_v} = 3,33333 \rightarrow 3$  și de numărul de electrozi  $n_v = 86$  se determina prin interpolare coeficientul de utilizare.

**Coeficientii de utilizare - asezare in rand**

Asezare in rand lb/lv	Numarul de electrozi $n_v$					
	2	3	5	10	15	20
1	0.84	0.76	0.67	0.50	0.51	0.47
2	0.9	0.85	0.79	0.72	0.66	0.65
3	0.93	0.90	0.85	0.79	0.76	0.76

Interpolare

nv1 = 60      uv1 = 0,62

nv2 = 100      uv2 = 0,6

Calcul

uv = 0,607

**Coeficientii de utilizare - asezare in contur**

Asezare in contur lb/lv	Numarul de electrozi $n_v$						
	4	6	10	20	40	60	100
1	0.66	0.58	0.52	0.41	0.38	0.36	0.35
2	0.76	0.71	0.56	0.61	0.55	0.52	0.50
3	0.84	0.78	0.74	0.68	0.64	0.62	0.60

Rezistența prizei verticale multiple

Calcul      Rv = 0,31 Ω

**TRANSFER DATE**

**Rezistența prizei orizontale multiple**

In functie de raportul  $\frac{l_b}{l_v} = 3,33333 \rightarrow 3$  și de numărul de electrozi  $n_v = 86$  se determina prin interpolare coeficientul de utilizare.

**Coeficientii de utilizare - asezare in rand**

Asezare in rand lb/lv	Numarul de electrozi $n_b$							
	4	5	8	10	20	30	50	65
1	0.77	0.74	0.67	0.62	0.40	0.31	0.21	0.20
2	0.89	0.86	0.79	0.75	0.56	0.46	0.36	0.34
3	0.92	0.90	0.85	0.82	0.68	0.58	0.49	0.47

Interpolare

nb1 = 70      ub1 = 0,35

nb2 = 100      ub2 = 0,33

Calcul

ub = 0,339

**Coeficientii de utilizare - asezare in contur**

Asezare in contur lb/lv	Numarul de electrozi $n_b$								
	4	6	8	10	20	30	50	70	100
1	0.45	0.40	0.36	0.34	0.27	0.24	0.21	0.20	0.19
2	0.55	0.48	0.43	0.40	0.32	0.30	0.28	0.26	0.24
3	0.70	0.64	0.60	0.56	0.45	0.41	0.37	0.35	0.33

Rezistența prizei orizontale multiple

Calcul      Rb = 0,35 Ω

**TRANSFER DATE**

**DIMENSIONAREA INSTALATIEI DE LEGARE LA PAMANT**

### DIMENSIONAREA ILP A UNEI STATII ELECTRICE

**Rezistența prizei orizontale și verticale**

Rezistența echivalentă a firelor de gardă  
Rezistența de dispersie a prizei de legare la pământ ale LEA

$r_{LEA} = 2,4 \Omega / \text{linie}$

Calcul  $R_{LEA} = 0 \Omega$

Rezistența de dispersie a instal. de legare la pământ

Calcul  $R_p = 0 \Omega$   $R_{padm} = 0,3 \Omega$

Dimensionarea conductoarelor de legare la pământ

Calcul

**Conductoarele de ramificație**

S-a ales:  $0 \times (0 \times 0) \text{ mm}^2$

$S_{iLEA} = 0 \geq S_i = 0 \text{ mm}^2$

$t_{frec} = 0 \text{ s}$

**Conductoarele principale de legatura**

S-a ales:  $(0 \times 0) \text{ mm}^2$

$S_{pSTAS} = 0 \geq S_p = 0 \text{ mm}^2$

$t_{frec} = 0 \text{ s}$

**Verificarea la stabilitatea termica**

Dimensionarea celorlalte conductoarelor de legare la pământ

S-a ales:  $(0 \times 0) \text{ mm}^2$

$S_{pSTAS} = 0 \geq S_p = 0 \text{ mm}^2$

$t_{frec} = 0 \text{ s}$

Verificarea la stabilitate termica

Calcul

Suprafata laterala a prizei de contur

$S_{lat} = 0 \geq 0 \text{ m}^2 \rightarrow$  Conditie indeplinita

Tensiunea prizei in regim termic stabilizat

$U_{pog,thb} = \leq 0 \text{ V}$

Rezistența de dispersie a prizei - regim stabilizat

$R_{pog,thb} = 0 \Omega$

Tensiunea de atingere și tensiunea de pas

Calcul

$U_{at} = U_{pas}^{max} = 0 \text{ V}$   $U'_{at} = U'_{pas}^{max} = 0 \text{ V}$

Rezistența de izolare și grosimea stratului de material izolat

Calcul

$R_d = 0 \Omega$   $h = 0 \text{ cm}$

**Dimensionarea conductoarelor de legare la pământ**

Curentul maxim de punere la pământ  $I_p = 35580 \text{ A}$

Timpul total de lucru (protecție și întrerupătoare)  $t_f = 1 \text{ s}$

Durata scurtcircuitului (timpul de calcul)  $t = 1 \text{ s}$

Densitatea de curent maxim admisibilă în conductoare

Calcul  $j = 66 \text{ A / mm}^2$

Secțiunea conductoarelor de ramificație

Calcul  $S_i = 539,091 \text{ mm}^2$

Se alege din STAS:  $2 \times (50 \times 6) \text{ mm}^2$

$S_{pSTAS} = 600 \geq S_i = 539,091 \text{ mm}^2$

**---> conditie indeplinita**

Calcul  $t_{frec} = 1,239 \text{ s}$

Secțiunea conductoarelor principale de legatura

Calcul  $S_p = 269,546 \text{ mm}^2$

Se alege din STAS:  $(50 \times 6) \text{ mm}^2$

$S_{pSTAS} = 300 \geq S_p = 269,546 \text{ mm}^2$

**---> conditie indeplinita**

Calcul  $t_{frec} = 1,239 \text{ s}$

Alte secțiunea pentru conductoarele principale de legatura

$S_p = 269,546 \text{ mm}^2 \Rightarrow$  Se alege din STAS:  $(50 \times 6) \text{ mm}^2$

$S_{pSTAS} = 300 \geq S_p = 269,546 \text{ mm}^2$

**---> conditie indeplinita**

Calcul  $t_{frec} = 1,239 \text{ s}$

**TRANSFER DATE**

### Verificare la stabilitate statica

Curentul maxim de punere la pamant	$I_p =$	35580	A	Coeficient de ecranare	$\alpha =$	1,2	
Timpul total de lucru (protectie si intreruptoare)	$t_f =$	1	s	Grosimea electrodului orizontal singular	$a =$	0,050	m
Rezistivitatea calculata a solului	$\rho_{calc} =$	62	$\Omega \cdot m$	Latimea electrodului orizontal singular	$b =$	0,008	m
Numarul de electrozi verticali/orizontali	$n_v/n_b =$	86		Conductibilitatea termica a solului	$\lambda =$	1,2	$W / m^2 \cdot ^\circ C$
Coef. de utilizare al electrizilor verticali	$u_v =$	0,607		Temperatura initiala a solului	$\theta_i =$	35	$^\circ C$
Diametrul electrodului vertical	$d =$	0,0635	m	Temperatura finala a solului (85...95 grad C)	$\theta_f =$	90	$^\circ C$
Lungimea electrodului vertical	$l_v =$	3	m				
Coef de utilizare al electrizilor orizontali	$u_b =$	0,339					
Lungimea electrodului orizontal	$l_b =$	10	m				

Suprafata laterala a prizei de contur - regim tranzitoriu	Tensiunea prizei in regim termic stabilizat	Rezist. de disp. a prizei - regim stabilizat
Calcul $S_{pr} =$ 48,151 $m^2$	Calcul $U_{pr} =$ 90,465 V	Calcul $R_{pr} =$ 0,003 $\Omega$
<b>Trebuie sa se respecte conditia</b>	<b>Trebuie sa se respecte conditia</b>	
$S_{pr} = 48,151 \geq 33,619 m^2$ --> <b>conditie indeplinita</b>	$U_{pr} = 90,465 \leq 90,465 V$	

**TRANSFER DATE**

### Determinarea tensiunilor de atingere si de pas

Nr. de conduct princip. de legare la pamant	$nd =$	16		Diametrul echiv. al benzilor de legatura care alcat. retea de dirijare a distrib. potentialului	$ddp =$	0,004	m
Lungimea statiei	$L =$	336	m	Distanța între conductoarele principale	$dd =$	6	m
Distanța priză față de gard	$x =$	3	m	Curentul maxim de punere la pamant	$I_p =$	35580	A
Distanța priză dirijare-priză de contur	$y =$	4	m	Rezistența de disp. a instal. de legare la pamant	$R_p =$	0,073	$\Omega$
Adancime ingropare priză dirijare	$hd =$	0,4	m	Adancime ingropare electrodului orizontal	$hb =$	0,8	m
Latimea benzilor de legat. care alcatuiesc retea de dirijare a distributiei potentialului	$bd =$	0,008	m				

Lungimea electrozilor paraleli echivalenti	Calcul $L_d =$ 5152 m
Coeficientul de atingere $K_{at}$	Calcul $A =$ 65,006 $K_{at} =$ 0,029
Tensiunea de atingere si de pas (in zona prizei de dirijare)	Calcul $U_p =$ 2597,34 V
	$U_{at} = U_{pas}^{max} =$ 75,32286 V

Coeficientul de pas $K_{pas}$	Calcul $k_i =$ 3,402 $k_s =$ 0,375 $k_{pas} =$ 0,052
Tensiunea de atingere si de pas (pentru zona periferica)	Calcul $U'_{at} = U_{pas}^{max} =$ 135,06168 V

Zona cu circulatie redusa - cu mijloace individuale	$U_{pas\ adunat} =$ 230 V
<b>Trebuie sa se respecte conditia</b>	$U'_{at} = U_{pas}^{max} = 135,0616 \leq U_{pas\ adunat} = 230 V$ --> <b>conditie indeplinita</b>

Zona cu circulatie redusa	$U_{pas\ adunat} =$ 125 V
<b>Trebuie sa se respecte conditia</b>	$U_{at} = U_{pas}^{max} = 75,32286 \leq U_{pas\ adunat} = 125 V$ --> <b>conditie indeplinita</b>

**>>> TRANSFER DATE <<<**

**Izolarea amplasamentelor**
\_ □ ×

Tens. de pas (sau atingere) pentru zone cu circulatie frecventa	$U_{at} = U_{pas} =$ <input style="width: 50px;" type="text" value="65"/> V
Tensiunea de pas (sau de atingere) pentru zona periferica	$U'_{at} = U_{pas}^{max}$ = <input style="width: 50px;" type="text" value="135,0616"/> V
Rezistivitatea materialului izolant in conditii de umiditate	$\rho' =$ <input style="width: 50px;" type="text" value="5000"/> $\Omega \cdot m$
Rezistivitatea calculata	$\rho_{calc} =$ <input style="width: 50px;" type="text" value="62"/> $\Omega \cdot m$

Rezistenta de izolare a amplasamentului

$R_d \geq$   k $\Omega$

Rezistenta de izolare a amplasamentului

$h =$   cm

Se alege grosimea  $\rightarrow$   cm

Calcul

 $\chi = \geq$

TRANSFER DATE