

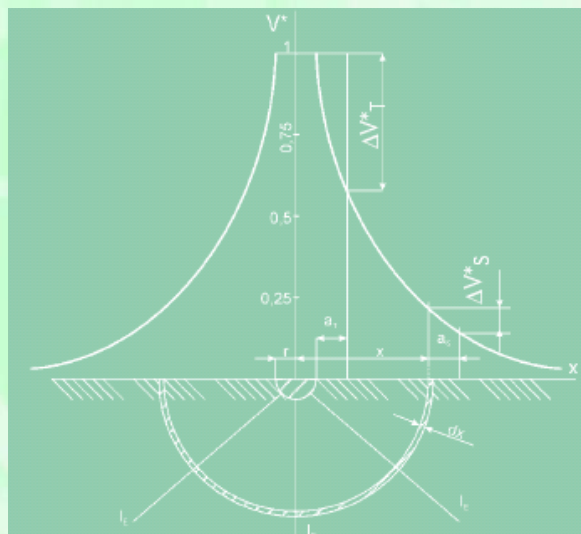
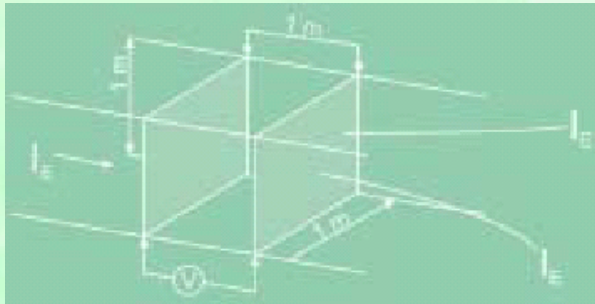
Ghid de Aplicare - Calitatea Energiei Electrice



Legarea la pământ & CEM

Instalații de legare la pământ - Bazele teoretice pentru calcul și proiectare

6.3.1



Legarea la pământ & CEM

Legarea la pământ & CEM

Instalații de legare la pământ – Bazele teoretice pentru calcul și proiectare

Prof Henzrk Markiewicz & Dr Antoni Klajn
Wroclaw University of Technology
Iunie 2003



Acest ghid este realizat ca parte a Inițiativei Leonardo pentru Calitatea Energiei Electrice, un program european de educație și învățare, sub egida și cu suportul Comunității Europene (în programul Leonardo da Vinci) și International Copper Association. Pentru alte informații privind acest program a se vedea www.lpqi.org.

European Copper Institute (ECI)

European Copper Institute este un joint venture între ICA (International Copper Association) și membrii IWCC (International Wrought Copper Council). Prin membrii săi, ECI acționează în numele celor mai mari producători de cupru din lume și a principalilor prelucrători din Europa, pentru promovarea cuprului în Europa. Apărută în ianuarie 1996, ECI are suportul unei rețele de zece Copper Development Association („CDAs”) în Benelux, Franța, Germania, Grecia, Ungaria, Italia, Polonia, Scandinavia, Spania și Regatul Unit. ECI continuă eforturile întreprinse inițial de către Copper Products Development Association, apărută în 1959 și INCRA (International Copper Research Association), apărută în 1961.

Societatea Inginerilor Energeticieni din România

Societatea Inginerilor Energeticieni din România - SIER, constituită în 1990, este o asociație profesională, autonomă, cu personalitate juridică, neguvernamentală, apolitică, fără scop patrimonial. Scopul Societății este de a contribui activ atât la creșterea rolului și eficienței activității inginerilor energeticieni, cât și la stabilirea orientărilor, promovarea progresului tehnic și îmbunătățirea legislației în domeniul energetic. SIER promovează un schimb larg de informații, cunoștințe și experiență între specialiștii din domeniul energetic prin cooperarea cu organizații similare naționale și internaționale. În anul 2004 SIER a semnat un acord de parteneriat cu European Copper Institute pentru extinderea și în România a programului LPQI (Leonardo Power Quality Initiative), program educațional în domeniul calității energiei electrice, realizat cu suportul Comisiei Europene. În calitate de partener al ECI, SIER se va implica în desfășurarea unei ample activități de informare și de consultanță a consumatorilor de energie electrică din România.

Atenționare

Conținutul acestui proiect nu reflectă în mod necesar poziția Comunității Europene și nu implică nici o responsabilitate din partea Comunității Europene.

European Copper Institute, Wroclaw University of Technology și Societatea Inginerilor Energeticieni din România își declină răspunderea pentru orice daune directe, indirecte, subsidiare sau incidentale care ar putea să rezulte în urma utilizării informațiilor sau a inabilității de a utiliza informațiile și datele cuprinse în această publicație.

Copyright© European Copper Institute, Wroclaw University of Technology și Societatea Inginerilor Energeticieni din România.

Reproducerea prezentului document este permisă numai sub forma sa integrală și cu menționarea sursei.



Membră a
EUROPEAN

Societatea Inginerilor Energeticieni din România
No. 1, Lacul Tei Avenue, PO/BOX 30-33
020371 Bucharest
Romania

Tel: 4 0722 36 19 54
Fax: (4 021) 610 52 83
Email: office@sier.ro
Websites: www.sier.ro



European Copper Institute
168 Avenue de Tervueren
B-1150 Brussels
Belgium

Tel: 00 32 2 777 70 70
Fax: 00 32 2 777 70 79
Email: eci@eurocopper.org
Website: www.eurocopper.org

Instalații de legare la pământ – Bazele teoretice pentru calcul și proiectare

Introducere

Secțiunea 6.1 a acestui Ghid prezintă o trecere în revistă a cerințelor față de instalațiile de legare la pământ și analizează necesitatea unei abordări sistemice a proiectării acestora, concentrându-se asupra aspectelor legate de instalația unei clădiri. Această parte cuprinde aplicații ce tratează proiectarea prizelor de pământ în timp ce secțiunea 6.5.1 prezintă instrucțiuni practice pentru calculul și proiectarea prizelor de pământ.

Instalația de legare la pământ, numită câteodată mai simplu „pământare”, reprezintă totalitatea măsurilor adoptate pentru conectarea la pământ a componentelor electrice conductoare. Această instalație este o componentă importantă a rețelelor de alimentare cu energie electrică, atât la nivelul de MT cât și la JT. O bună instalație de legare la pământ este necesară pentru:

- ◆ protecția clădirilor și instalațiilor împotriva loviturilor de trăsnet;
- ◆ securitatea vieții oamenilor și animalelor prin limitarea tensiunilor de atingere și de pas la valori de siguranță;
- ◆ asigurarea compatibilității electromagnetice (CEM), respectiv limitarea perturbațiilor electromagnetice;
- ◆ funcționarea corectă a rețelei de alimentare cu energie electrică și asigurarea unei calități corespunzătoare a energiei furnizate.

Toate aceste funcțiuni sunt asigurate de o instalație unică de legare la pământ care trebuie proiectată pentru a îndeplini toate cerințele. Anumite elemente ale acestei instalații pot fi dedicate satisfacerii unor cerințe specifice dar ele sunt totuși parte a unei unice instalații de legare la pământ. Standardele impun ca toate măsurile privind legarea la pământ dintr-o instalație să fie interconectate, formând un sistem unic.

Definiții de bază [1, 2]

Sistemul sau instalația de legare la pământ reprezintă totalitatea mijloacelor și măsurilor prin care părți ale unui circuit electric, părți conductoare care pot fi accesibile ale unui echipament electric (părți conductoare expuse) sau părțile conductoare din vecinătatea unei instalații electrice (părți conductoare externe) sunt conectate la pământ.

Priza de pământ este un conductor metallic sau un ansamblu de conductoare metalice interconectate sau alte părți metalice acționând în aceeași manieră, îngropate în pământ și conectate electric la acesta sau introduse în beton care are o suprafață mare în contact cu pământul (de exemplu, fundația unei clădiri).

Conductorul de legare la pământ este un conductor care asigură conectarea la priza de pământ a unei părți a unei instalații electrice, a elementelor conductoare expuse sau părți conductoare externe sau interconectează electrozi ai prizei de pământ. Conductorul de legare la pământ este montat în aer sau, dacă este îngropat în sol, se izolează față de acesta.

Pământul de referință (zona de potențial nul) este o parte a solului, în particular la suprafața acestuia, localizată în afara sferei de influență a prizei de pământ considerate, adică zona în care între două puncte arbitrare nu există o diferență de potențial perceptibilă, rezultată în urma trecerii prin priză a unui curent de punere la pământ. Potențialul pământului de referință este întotdeauna presupus a fi egal cu zero.

Potențialul prizei de pământ V_E este diferența de potențial care apare între priza de pământ și zona de potențial nul la o valoare dată a curentului de trecere prin acea instalație de legare la pământ.

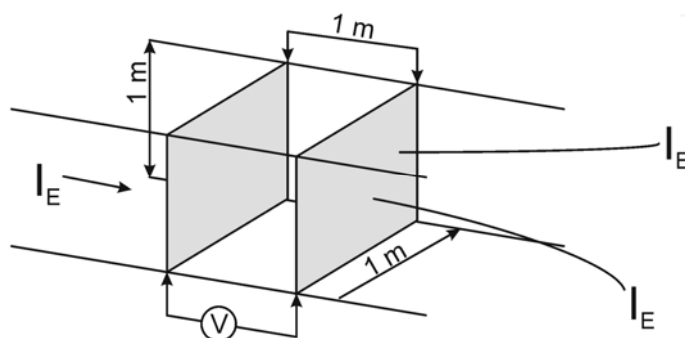


Fig. 1 – Schemă ilustrând sensul fizic al rezistivității solului ρ

Instalații de legare la pământ – Bazele teoretice pentru calcul și proiectare

Rezistivitatea solului (rezistența specifică a solului) ρ este rezistența, măsurată între două fețe opuse ale unui metru cub de pământ (fig. 1). Rezistența specifică este dată în Ωm .

Potențialul suprafeței solului V_x este diferența de potențial dintre un punct x de pe suprafața solului și pământul de referință.

Proprietățile electrice ale solului

Proprietățile electrice ale solului sunt caracterizate prin rezistivitatea ρ a acestuia. În ciuda definiției relativ simple a rezistivității ρ , prezentată anterior, determinarea valorii acesteia este adesea dificilă din două motive:

- ♦ solul nu are o structură omogenă ci este format din straturi de materiale diferite
- ♦ rezistivitatea unui anumit sol variază în limite largi (tabelul 1) și este puternic dependentă de gradul de umiditate.

Tipul solului	Rezistivitatea solului ρ [Ωm]	
	Domeniu de valori	Valoare medie
Sol mlăștinos	2 ... 50	30
Argilă	2 ... 200	40
Mâl și argilă nisipoasă, humus	20 ... 260	100
Nisip și pământ nisipos	50 ... 3000	200 (umed)
Turbă	> 1200	200
Pietriș (umed)	50 ... 3000	1000 (umed)
Piatră și pământ pietros	100 ... 8000	2000
Beton: 1 parte ciment + 3 părți nisip	50 ... 300	150
Beton: 1 parte ciment + 5 părți pietriș	100 ... 8000	400

Tabelul 1 – Rezistivitatea solului ρ pentru diferite tipuri de sol și beton [2,3]

Calcularea rezistenței solului presupune o bună cunoaștere a proprietăților acestuia, în particular a rezistivității. Ca urmare, variația în limite largi a rezistivității ρ constituie o mare problemă. În multe situații practice se acceptă o structură omogenă a solului, cu o valoare medie a rezistivității ρ , aceasta fiind estimată pe baza unor analize ale solului sau a unor măsurători. Există tehnici elaborate pentru măsurarea rezistivității solului. Un aspect important este ca distribuția curentului în straturile de sol, existentă în timpul măsurătorilor, să o simuleze cât mai fidel pe cea a instalației finale. În consecință, rezultatele măsurătorilor trebuie întotdeauna interpretate cu precauție. Dacă nu se dispune de informații reale asupra valorii lui ρ , se acceptă valoarea prezumată $\rho = 100 \Omega\text{m}$. Totuși, așa cum se indică în tabelul 1, valorile reale pot fi foarte diferite, astfel încât trebuie avute în vedere teste de verificare în instalația finală, împreună cu o estimare a variațiilor posibile determinate de condițiile climatice și de uzura în timp.

O altă problemă la determinarea rezistivității solului o reprezintă conținutul de umiditate care se poate schimba în limite largi, depinzând de amplasarea geografică și de condițiile atmosferice, de la o valoare nesemnificativă a umidității, pentru regiunile deșertice până la valori de circa 80 % pentru regiunile mlăștinoase. Rezistivitatea solului depinde în mod semnificativ de acest parametru. În figura 2 este indicată dependența dintre rezistivitate și umiditate pentru argilă. Se poate observa aici că, pentru valori ale umidității mai mari de 30 %, modificările rezistivității ρ sunt foarte lente și practic nesemnificative. Totuși, când solul este uscat, respectiv valori ale umidității relative h mai mici de 20 %, rezistivitatea crește foarte rapid.

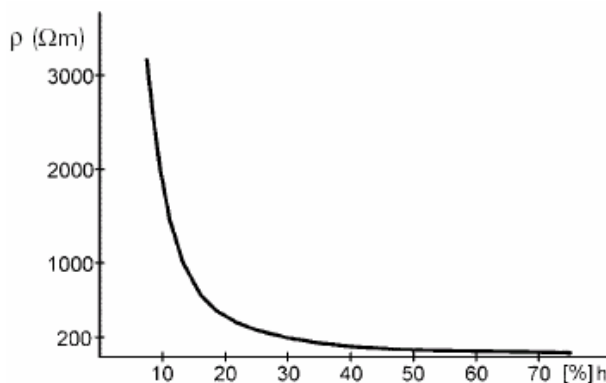


Fig. 2 - Rezistivitatea solului ρ , pentru argilă, în funcție de umiditatea relativă h a solului

În regiunile cu climă temperată, de exemplu în țările europene, rezistivitatea solului se modifică în timpul anotimpurilor datorită dependenței rezistivității de umiditatea solului. Pentru Europa, această dependență are o

Instalații de legare la pământ – Bazele teoretice pentru calcul și proiectare

formă aproximativ sinusoidală, valoarea maximă a rezistenței prizei de pământ fiind atinsă în februarie, iar valoarea minimă în august. Valorile medii sunt obținute în lunile mai și noiembrie. Valoarea din februarie este cu aproximativ 30 % mai mare decât valoarea medie, în timp ce în august ea este cu circa 30 % mai mică decât media [4].

Trebuie reamintit că efectul înghețului este similar cu cel al secetei – rezistivitatea crește în mod semnificativ.

Din aceste motive, calculul rezistenței solului și proiectarea prizei pot fi realizate numai până la un nivel limitat de acuratețe.

Proprietățile electrice ale instalației de legare la pământ

Proprietățile electrice ale instalației de legare la pământ depind în mod esențial de doi parametri:

- ◆ rezistența prizei de pământ;
- ◆ configurația prizei de pământ.

Rezistența prizei de pământ determină relația dintre potențialul prizei V_E și valoarea curentului de punere la pământ. Configurația prizei de pământ determină repartitia potențialului la suprafața solului, urmare a trecerii curentului spre pământ. Repartitia potențialului la suprafața solului reprezintă un element important în evaluarea gradului de protecție împotriva șocurilor electrice, întrucât ea determină tensiunile de atingere și de pas. Aceste probleme vor fi discutate pe scurt în continuare.

Rezistența prizei de pământ are două componente:

- ◆ rezistența de dispersie R_D , care este rezistența solului între priza de pământ și zona de potențial nul
- ◆ rezistența R_L a părților metalice ale prizei de pământ și ale conductorului de nul de protecție.

Rezistența R_L este, în mod uzual, mult mai mică decât rezistența de dispersie R_D . Ca urmare, rezistența prizei de pământ este considerată a fi egală cu rezistența de dispersie R_D . În literatura de specialitate, rezistența prizei de pământ este denumită frecvent rezistență de dispersie.

Fiecare legare la pământ asigurată de furnizor apare ca fiind conectată în paralel cu prizele locale și se poate presupune cu siguranță că va avea o impedanță mai mică pentru frecvența fundamentală și armonicile acesteia. Totuși, disponibilitatea și caracteristicile acestei căi sunt în afara controlului proiectanților și, ca urmare, ea nu va fi luată în considerare în proiectarea instalației de legare la pământ care trebuie să corespundă cerințelor impuse prin caracteristicile proprii.

Rezistența prizei de pământ și distribuția potențialelor

În circuitele de tensiune alternativă trebuie considerată în principal impedanța de legare la pământ Z_E , care este impedanța dintre instalația de legare la pământ și pământul de referință la frecvența de lucru dată. Reactanța instalației de legare la pământ este dată de reactanța conductorului de legare la pământ și a părților metalice ale prizei de pământ. La frecvențe mici – frecvența rețelei și armonicile asociate – reactanța este, de obicei, neglijabilă în comparație cu rezistența prizei de pământ, dar ea trebuie luată în considerare la frecvențe ridicate, așa cum este cazul regimului tranzitoriu determinat de o lovitură de trăsnet. Astfel, pentru frecvențe mici, se consideră că impedanța de legare la pământ Z_E este egală cu rezistența de dispersie R_D care, la rândul ei, este presupusă a fi egală cu rezistența prizei de pământ, R :

$$Z_E \approx R_D \approx R \quad (1)$$

Rezistența R a unei prize de pământ depinde de rezistivitatea solului ρ precum și de configurația prizei. Pentru a obține valori scăzute ale rezistenței R , densitatea curentului care se scurge de la electrozii metalici spre pământ trebuie să fie redusă, adică volumul de pământ prin care se scurge acest curent trebuie să fie cât mai mare posibil. Îndată ce curentul trece de la metal la pământ el se dispersează, reducând astfel densitatea de curent. Dacă electrodul are dimensiuni mici, de exemplu este un punct, acest efect este semnificativ dar el se reduce foarte mult pentru un electrod tip placă unde disiparea este efectivă numai pe muchii. Aceasta înseamnă că electrozii realizați din tije, țevi sau conductoare au o rezistență de dispersie mult mai mică decât, de exemplu, o placă având aceeași suprafață. În plus, este bine cunoscut din literatura de specialitate că fenomenul de coroziune determinat de curentul alternativ sau continuu se intensifică odată cu creșterea densității de curent. Densități mici de curent măresc durata de viață a electrozilor.

Calculul rezistenței prizei de pământ este realizat, uzual, pe baza presupunerii că pământul este infinit și cu o structură uniformă, având o valoare dată a rezistivității. Este posibilă stabilirea unor relații exacte pentru rezistența prizei de pământ dar, în practică, utilitatea acestora este foarte limitată, în special în cazul prizelor complexe și de tip plasă unde expresiile matematice devin foarte complicate. Mai mult, chiar și o mică

Instalații de legare la pământ – Bazele teoretice pentru calcul și proiectare

inexactitate în valoarea rezistivității are o influență semnificativă asupra valorii reale a rezistenței prizelor complexe și adesea, determinarea rezistivității solului cu exactitatea impusă este foarte dificilă. Din această cauză, relațiile teoretice exacte ale rezistenței prizei de pământ sunt utilizate numai pentru structuri simple ale acestora în scopul ilustrării dependenței dintre tensiunea prizei, repartiția potențialului solului și curentul de punere la pământ. Pentru prize de suprafață mare și tip plasă, se utilizează relații aproximative pentru determinarea rezistenței prizei.

Un model de bază pentru configurația unei prize de pământ, utilizat în scopul punerii în evidență a proprietăților electrice fundamentale, îl reprezintă o semisferă îngropată la suprafața solului (fig. 3). Curentul de punere la pământ care apare într-un astfel de electrod se presupune a trece radial spre zonele înconjurătoare. Suprafața semisferei, ca și o secțiune transversală semisferică d_x prin pământ, se presupune a fi echipotențiale și prin urmare, liniile de curent sunt perpendiculare pe aceste suprafețe. În aceste condiții, rezistența elementului semisferic de grosime d_x se exprimă prin relația (în ipoteza că ρ este constant):

$$dR = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot x^2} \cdot dx \quad (2)$$

Rezistența electrodului semisferic este dată de relația:

$$R = \frac{\rho}{2 \cdot \pi} \cdot \int_r^\infty \frac{dx}{x^2} = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot r} \quad (3)$$

Rezistența prizei de pământ depinde în mod semnificativ de adâncimea de îngropare a electrodului. Aceasta deoarece conținutul de umiditate este mai mare și mai stabil pentru straturile mai adânci decât pentru cele superficiale. Straturile din apropierea suprafeței sunt influențate mai puternic de variațiile meteorologice sezoniere și pe termen scurt și pot fi supuse înghețului. Această problemă este ilustrată în figura 4, pentru un electrod vertical, putându-se observa o reducere considerabilă a rezistenței prizei pe măsură ce adâncimea de îngropare crește. Totuși, din considerente geologice, nu este întotdeauna posibil să se amplaseze electrozii la adâncimea dorită, de exemplu acolo unde există piatră sau alte obstrucții în apropierea suprafeței solului sau acolo unde priza acoperă o suprafață mare.

Se pot deosebi mai multe tipuri de prize de pământ, printre care:

- ◆ prize simple de suprafață (prize simple orizontale) realizate din benzi sau conductoare plasate orizontal sub formă de fâșii sau inel;
- ◆ priză orizontală realizată ca o plasă amplasată la mică adâncime;
- ◆ cabluri cu manta metalică neprotejată sau armături care se comportă ca o priză simplă orizontală;
- ◆ prize naturale formate din părțile de structură conductoare conținute în betonul fundației și care asigură o suprafață mare de contact cu solul;
- ◆ prize tijă constând din țevi, bare etc. și care sunt instalate sau îngropate la o adâncime mai mare de 1 metru, uzual între 3 și 30 metri sau chiar mai mult.

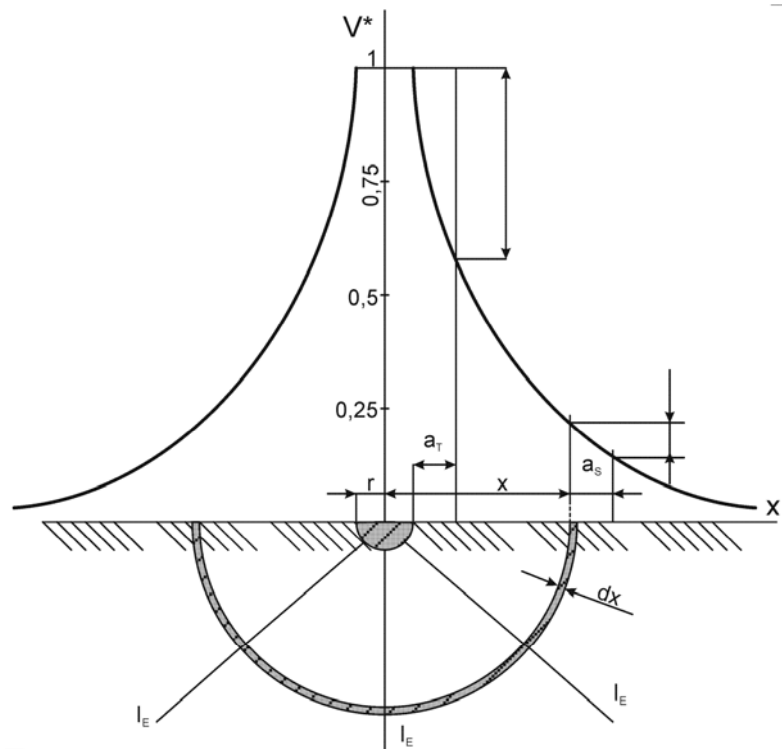


Fig. 3 - Ilustrarea noțiunii de electrod de pământ semisferic, cu indicarea parametrilor necesari pentru calculul rezistenței prizei de pământ și repartiția potențialului la suprafața solului (cu $\rho = \text{const}$)

r	raza electrodului
x	distanța de la centrul electrodului
a_T, a_S	distanțele de atingere și respectiv de pas
V	valoarea relativă a repartiției de potențial
$\Delta V_T^*, \Delta V_S^*$	tensiunea de atingere și respectiv de pas

Instalații de legare la pământ – Bazele teoretice pentru calcul și proiectare

Primele patru configurații sunt prize de pământ de suprafață care constau, în mod obișnuit, din conductoare neizolate sau benzi, poziționate într-o configurație radială, circulară, de tip plasă sau o combinație a acestora, îngropate la o adâncime mică de până la 1 metru. Un avantaj important al acestei soluții îl constituie repartiția favorabilă a potențialelor la suprafața solului. Prizele tijă aparțin așa numitelor prize de adâncime; avantajul acestora constă în faptul că ele traversează straturi având rezistivități diferite și sunt deosebit de utile în locurile unde straturile superficiale au conductivitate scăzută. În acest fel se poate obține cu ușurință o valoare dorită a rezistenței prizei (fig. 4).

Un alt avantaj al prizelor tijă este acela că ele pot fi realizate în locuri unde suprafața disponibilă pentru amplasarea electrozilor este redusă. Totuși, distribuția potențialelor la suprafața solului este defavorabilă pentru aceste prize astfel încât în practică se utilizează o combinație de prize tijă/verticală și de suprafață în scopul de a obține atât o bună rezistență cât și o distribuție dorită a potențialelor. Distribuția potențialelor la suprafața solului este tema capitolului următor.

O prezentare mai detaliată și ecuațiile de bază referitoare la rezistența prizelor de pământ tipice, amintite anterior sunt date în secțiunea 6.5.1.

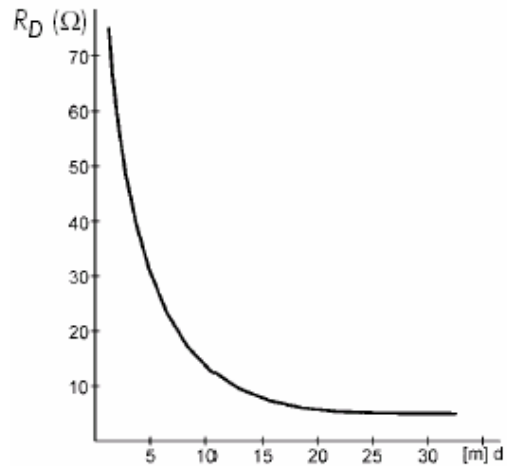


Fig. 4 – Exemplu pentru rezistența de dispersie R_D a unei prize tijă în funcție de adâncimea d

Potențialul prizei de pământ și repartiția potențialului la suprafața solului

Potențialul prizei de pământ, precum și repartiția potențialului la suprafața solului în timpul trecerii curentului prin instalația de legare la pământ, sunt parametri importanți pentru protecția contra șocurilor electrice. Relațiile de bază vor fi prezentate cu ajutorul modelului pământului prezentat în figura 3.

Potențialul oricărui punct situat la distanța x de centrul electrozului prin care trece curentul I_E poate fi calculat cu relația

$$V_x = \frac{\rho \cdot I_E}{2 \cdot \pi \cdot x}, \quad (4)$$

iar valoarea sa relativă este:

$$V_x^* = \frac{V_x}{V_E}, \quad (4a)$$

în care V_E este potențialul prizei de pământ, presupunând că potențialul pământului de referință este egal cu zero.

Potențialul prizei de pământ poate fi descris ca:

$$V_E = I_E \cdot R_E = \frac{\rho \cdot I_E}{2 \cdot \pi \cdot r}. \quad (5)$$

Diferența de potențial dintre două puncte de pe suprafața solului, unul situat la distanța x , iar celălalt la $x + a_S$, în care a_S se consideră a fi egală cu 1 metru, corespunde tensiunii de pas ΔV_S , adică diferența de potențial existentă între două picioare, când o persoană stă în acel loc pe suprafața pământului:

$$V_S = \frac{\rho \cdot I_E}{2 \cdot \pi} \cdot \left(\frac{1}{x} - \frac{1}{x + a_S} \right), \quad (6)$$

iar valoarea sa relativă este:

$$V_S^* = \frac{V_S}{V_E}, \quad (6a)$$

în care $x \geq r$.

Instalații de legare la pământ – Bazele teoretice pentru calcul și proiectare

O relație similară poate fi scrisă pentru orice alte distanțe x și a . În particular, pentru $x = r$ și $a = a_T = 1$ m, relația (6) permite calculul tensiunii de atingere, adică tensiunea dintre mâna și piciorul unei persoane care atinge priza de pământ sau o parte metalică conectată la aceasta:

$$V_T = \frac{\rho \cdot I_E}{2 \cdot \pi} \cdot \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r + a_T} \right) \quad (7)$$

și a valorii sale relative:

$$V_T^* = \frac{V_T}{V_E} \quad (7a)$$

O prezentare practică a tensiunilor de atingere și de pas este cuprinsă în figura 5. Persoanele A și B sunt supuse tensiunii de atingere în timp ce persoana C este expusă tensiunii de pas. Uneori, tensiunea de atingere V_T este considerată distinct față de tensiunea de atingere de șoc V_{TS} (similar, tensiunea de pas V_S se diferențiază de tensiunea de șoc V_{SS}). Tensiunile V_T și V_S sunt valorile care rezultă din repartiția de potențial în timp ce V_{TS} și V_{SS} iau în considerare micile variații în repartiția potențialului determinate de trecerea curentului de șoc – adică țin seama și de efectele perturbatorii ale curentului care circulă prin om. În practică, diferențele dintre V_S și V_{SS} sau dintre V_T și V_{TS} sunt mici, astfel încât se consideră aceleași valori pentru cele două tensiuni: $V_S \approx V_{SS}$ și $V_T \approx V_{TS}$.

Partea din stânga a figurii 5 prezintă situația unei prize tijă/verticale în timp ce partea dreaptă este caracteristică unei prize de tip plasă. Priza tijă/verticală (1) prezintă o rezistență scăzută dar o repartiție a potențialelor mult mai defavorabilă, în timp ce priza orizontală este caracterizată printr-un profil mult mai aplatizat al potențialului solului. Tensiunea de atingere (persoana A) este considerabil mai mare la priza tijă/verticală (1) decât la cea de tip plasă (2), (persoana B). Tensiunile de pas (persoana C) sunt de asemenea mai puțin periculoase în cazul prizei tip plasă.

Când nu se poate realiza o priză plasă, un electrod circular (așa cum se practică în Belgia și Germania, de exemplu) reprezintă o soluție intermediară combinând costuri rezonabile cu o securitate acceptabilă.

Rezistența prizei de pământ determină valoarea potențialului prizei de pământ în timp ce configurația prizei are o influență determinantă asupra repartiției potențialului la suprafața solului. Desigur, configurația influențează și rezistența prizei – o priză tip plasă este în contact cu un volum mult mai mare de pământ – astfel încât rezistența și configurația trebuie considerate împreună. De notat că, deoarece priza tip plasă ocupă o suprafață mare, nu este practic ca ea să fie îngropată prea adânc și, prin urmare, este mult mai sensibilă la schimbări ale conținutului de umiditate al solului. O stabilitate îmbunătățită a rezistenței poate fi obținută prin includerea unui număr de electrozi verticali de lungime mare în interiorul rețelei tip plasă.

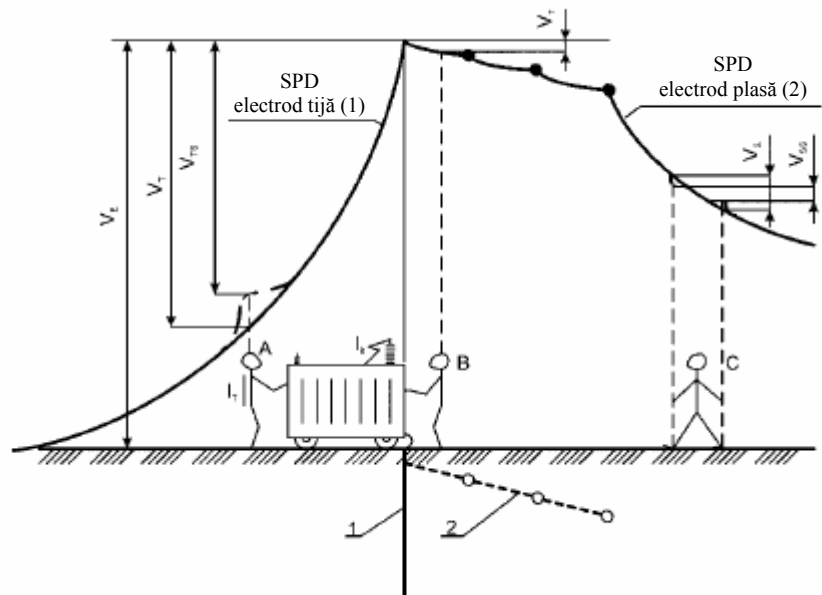


Fig. 5 - Comparație între distribuția potențialului la suprafața solului (SPD) în timpul trecerii curentului prin instalația de legare la pământ, pentru două tipuri de prize de pământ

- 1 priză tip tijă/verticală
- 2 priză tip plasă
- V_E potențialul prizei de pământ
- V_T, V_{TS} tensiunea de atingere și tensiunea de atingere de șoc
- V_S, V_{SS} tensiunea de pas și tensiunea de pas de șoc
- I_T curentul de atingere de șoc
- I_k curentul de scurtcircuit (curentul prin instalația de legare la pământ)
- A, B, C persoane la diferite potențiale la suprafața solului

Instalații de legare la pământ – Bazele teoretice pentru calcul și proiectare

Prizele plasă măresc aria suprafeței care suportă o creștere de tensiune ca urmare a trecerii curentului prin priză. Pe suprafața prizei se obține o zonă „echipotentială” dar la periferia prizei există un gradient de potențial, așa cum se evidențiază în figura 6 a). Deși nu există tensiune de atingere – deoarece rețeaua se extinde dincolo de orice structură metalică cu mai mult de 1 metru – pot să apară tensiuni de pas periculoase. Astfel de situații pot exista, de exemplu, la instalația de legare la pământ a unei stații electrice. Pentru a evita acest fenomen, electrozii marginali ai prizei de pământ trebuie plasați la o adâncime ceva mai mare decât restul prizei (Figura 6 c).

Proprietățile legăturii la pământ pentru curenți mari de impuls

Până acum, caracteristicile instalației de legare la pământ au fost discutate în ipoteza unor valori moderate ale curentului care circulă în regim staționar la frecvența rețelei. Diferențele dintre proprietățile în regim permanent și în regim de impuls ale instalației de legare la pământ sunt determinate în principal de:

- ◆ apariția unor curenți de valori ridicate, până la câteva sute de kA;
- ◆ pante foarte mari de creștere a curentului – loviturile de trăsnet ating în mod curent câteva sute de kA/μs.

Valori extrem de ridicate ale densității de curent în sol măresc intensitatea câmpului electric până la valori ce determină descărcări electrice în micile spații gazoase din pământ, cauzând scăderea rezistivității solului și a rezistenței prizei. Acest fenomen apare în special în apropierea electrozilor unde densitatea de curent este maximă, iar influența mai importantă. Intensitatea acestui fenomen este deosebit de mare atunci când solul este uscat sau de rezistivitate ridicată.

Inductivitatea părților metalice ale prizei, care poate fi estimată la valoarea de $1 \mu\text{H/m}$, poate fi neglijată când se consideră impedența prizei la frecvența rețelei. Totuși, inductivitatea devine un parametru important dacă viteza de creștere a curentului este ridicată, în domeniul câtorva sute de kA/μs sau mai mult. Pe durata loviturilor de trăsnet, căderea de tensiune inductivă ($L \cdot di/dt$) atinge valori foarte ridicate. Ca urmare, electrozii mai îndepărtați joacă un rol redus în conducerea spre pământ a curentului.

Impedanța prizei de pământ în cazul curenților de impuls crește în comparație cu rezistența acesteia în condiții statice. Astfel, prin creșterea lungimii electrozilor prizei peste așa numita lungime critică (fig. 7), nu se obține nici un efect de reducere a impedanței prizei la semnale tranzitorii.

Pe durata unei lovituri de trăsnet, intervin ambele fenomene descrise anterior dar ele acționează în sensuri contrare. Valoarea ridicată a curentului descrește rezistența prizei în timp ce frecvența ridicată a semnalului crește impedanța. Impedanța totală poate fi mai mare sau mai mică în funcție de efectul care este dominant.

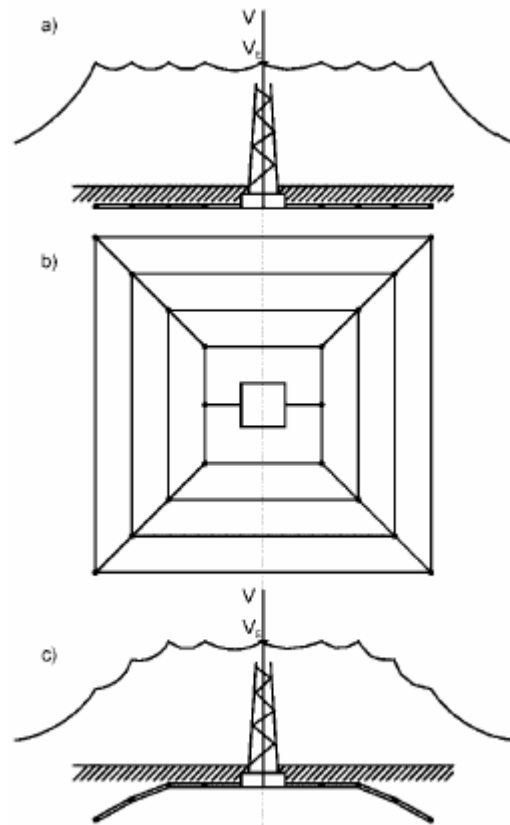


Fig. 6 - Fenomenul de transfer al potențialului. Repartiția potențialului la suprafața solului pentru două prize de tip plasă

- a) Priză cu electrozii plasați în același plan
- b) Planul electrozilor
- c) Priză cu cei doi electrozi marginali îngropați mai adânc

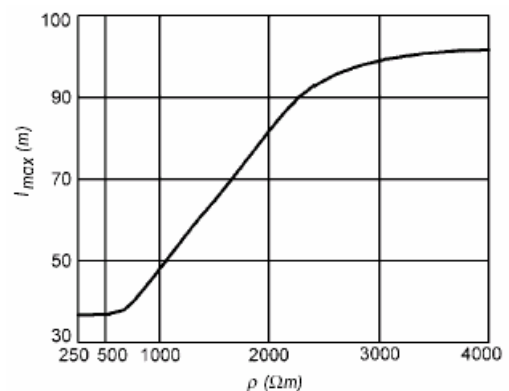


Fig. 7 – Lungimea maximă l_{max} a electrozilor prizei de pământ pentru instalația de paratrăsnet în funcție de rezistivitatea solului ρ

Instalații de legare la pământ – Bazele teoretice pentru calcul și proiectare

Concluzii

Rezistența prizei de pământ și repartiția potențialului la suprafața solului sunt parametrii principali care caracterizează proprietățile electrice ale instalației de legare la pământ.

Parametrii electrice ai instalației de legare la pământ depind atât de proprietățile solului cât și de configurația geometrică a prizei. Proprietățile solului sunt caracterizate prin rezistivitatea solului care variază în limite largi, de la câțiva Ωm la câteva mii de Ωm , depinzând de tipul și structura solului, ca și de umiditatea acestuia. Prin urmare, determinarea unei valori exacte a rezistenței prizei de pământ este dificilă. Toate relațiile care stabilesc rezistența prizei de pământ sunt obținute pe baza ipotezei că solul are o structură omogenă și o rezistivitate constantă.

În mod ideal, potențialul la suprafața solului ar trebui să fie aplatizat în zonele din jurul prizei. Aceasta este importantă pentru protecția împotriva șocurilor electrice și este caracterizată prin tensiunile de atingere și de pas. Prizele tijă/verticale au o repartiție mai nefavorabilă a potențialului la suprafața solului în timp ce prizele plasă asigură o distribuție mult mai plată.

Comportarea instalației de legare la pământ în cazul curenților tranzitorii de mare intensitate trebuie de asemenea luată în considerare. Valori foarte ridicate ale curenților reduc rezistența prizei datorită câmpului electric intens dintre electrozii prizei și sol, în timp ce variațiile rapide de curent măresc impedanța prizei datorită inductivității electrozilor. Impedanța prizei este, în acest caz, o suprapunere a ambelor fenomene.

Bibliografie

- [1] HD 637 S1 „Power installations exceeding 1 kV a.c”, 1999.
- [2] ABB Switchgear Manual, 10th edition, Dusseldorf, Cornelsen Verlag 1999.
- [3] IEC 364-5-54: 1980 „Electrical installations of buildings – Part 5: Selection and erection of electrical equipment – Chapter 54: Earthing arrangements and protective conductors”
- [4] Rudolph W., Winter O. EMV nach VDE 0100. VDE-Schriftenreihe 66. VDE-Verlag GmbH. Berlin, Offenbach, 1995.

Parteneri de Referință & Fondatori*

European Copper Institute* (ECI) www.eurocopper.org	Engineering Consulting & Design* (ECD) www.ecd.it	Polish Copper Promotion Centre* (PCPC) www.miedz.org.pl
Akademia Gorniczo-Hutnicza (AGH) www.agh.edu.pl	Hochschule für Technik und Wirtschaft* (HTW) www.htw-saarland.de	Provinciale Industriële Hogeschool (PIH) Web: www.pih.be
Centre d'Innovació Tecnològica en Convertidors Estàtics i Accionaments (CITCEA) www.citcea.upc.es	Istituto Italiano del Rame* (IIR) www.iir.it	Università di Bergamo* www.unibg.it
Comitato Elettrotecnico Italiano (CEI) www.ceiuni.it	International Union for Electrotechnology Applications (UIE) www.ue.org	University of Bath www.bath.ac.uk
Copper Benelux* www.copperbenelux.org	ISR - Universidade de Coimbra www.isr.uc.pt	University of Manchester Institute of Science and Technology (UMIST) www.umist.ac.uk
Copper Development Association* (CDA UK) www.cda.org.uk	Katholieke Universiteit Leuven* (KU Leuven) www.kuleuven.ac.be	Wroclaw University of Technology* www.pwr.wroc.pl
Deutsches Kupferinstitut* (DKI) www.kupferinstitut.de	La Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales (ETSII) Web: www.etsii.upm.es	

Consiliul de redacție

David Chapman (Chief Editor)	CDA UK	david.chapman@copperdev.co.uk
Prof Angelo Baggini	Università di Bergamo	angelo.baggini@unibg.it
Dr Araceli Hernández Bayo	ETSII - Universidad Politécnica de Madrid	ahernandez@etsii.upm.es
Prof Ronnie Belmans	UIE	ronnie.belmans@esat.kuleuven.ac.be
Dr Franco Bua	ECD	franco.bua@ecd.it
Prof Anibal de Almeida	ISR - Universidade de Coimbra	adealmeida@isr.uc.pt
Hans De Keulenaer	ECI	hdk@eurocopper.org
Gregory Delaere	Lemcko	gregory.delaere@howest.be
Prof Jan Desmet	Hogeschool West-Vlaanderen	jan.desmet@howest.be
Dr ir Marcel Didden	Laborelec	marcel.didden@laborelec.com
Dr Johan Driesen	KU Leuven	johan.driesen@esat.kuleuven.ac.be
Stefan Fassbinder	DKI	sfassbinder@kupferinstitut.de
Prof Zbigniew Hanzelka	Akademia Gorniczo-Hutnicza	hanzel@uci.agh.edu.pl
Dr Antoni Klajn	Wroclaw University of Technology	antoni.klajn@pwr.wroc.pl
Reiner Kreutzer	HTW	rkreutzer@htw-saarland.de
Prof Wolfgang Langguth	HTW	wlang@htw-saarland.de
Jonathan Manson	Gorham & Partners Ltd	jonathanm@gorham.org
Prof Henryk Markiewicz	Wroclaw University of Technology	henryk.markiewicz@pwr.wroc.pl
Carlo Masetti	CEI	masetti@ceiuni.it
Dr Jovica Milanovic	UMIST	jovica.milanovic@umist.ac.uk
Dr Miles Redfern	University of Bath	eesmar@bath.ac.uk
Andreas Sumper	CITCEA	sumper@citcea.upc.es
Roman Targosz	PCPC	cem@miedz.org.pl



Prof Henryk Markiewicz



Wroclaw University of Technology
Wybrzeze Wyspianskiego 27
50-370 Wroclaw
Poland
Tel: 00 48 71 3203 424
Fax: 00 48 71 3203 596
Email: henryk.markiewicz@pwr.wroc.pl
Web: www.pwr.wroc.pl



Dr Antoni Klajn



Wroclaw University of Technology
Wybrzeze Wyspianskiego 27
50-370 Wroclaw
Poland
Tel: 00 48 71 3203 920
Fax: 00 48 71 3203 596
Email: antoni.klajn@pwr.wroc.pl
Web: www.pwr.wroc.pl



Membră a
EUREL

Societatea Inginerilor Energeticieni din România
No. 1, Lacul Tei Avenue, PO/BOX 30-33
020371 Bucharest
Romania

Tel: 4 0722 36 19 54
Fax: (4 021) 610 52 83
Email: office@sier.ro
Websites: www.sier.ro



European Copper Institute
168 Avenue de Tervueren
B-1150 Brussels
Belgium
Tel: 00 32 2 777 70 70
Fax: 00 32 2 777 70 79
Email: eci@eurocopper.org
Website: www.eurocopper.org