

**ÎNDREPTAR DE PROIECTARE SI EXECUTIE A INSTALATIILOR DE
LEGARE LA PÂMANT - INDICATIV 1 RE-I_p 30/2004.**

Institutia responsabila de elaborarea îndreptarului: S.C ELECTRICA - S.A

Executant: SIER BUCURESTI

Responsabil lucrare: Ing. Mauriciu Sufrim

A.6.	Obiecte lungi care ies din zona de protectie	128
A.7.	Determinarea curentilor de scurtcircuit care trec prin priza de legare la pamânt a stâlpilor liniilor electrice aeriene	131
A.8.	Verificarea parametrilor unei instalatii de legare la pamânt	134

ÎNDREPTAR DE PROIECTARE SI EXECUTIE A INSTALATIILOR DE LEGARE LA PAMÂNT - INDICATIV 1 RE-I_p 30/2004.

1. GENERALITATI

1.1. Domeniul de aplicare

1.1.1. Prezentul îndreptar se aplica în cazul instalatiilor si echipamentelor electrice din obiectivele energetice (centrale, statii, posturi de transformare, puncte de alimentare, linii de transport si distributie).

1.1.2. În cazul instalatiilor electrice din obiectivele cu caracter special, cum sunt: tractiunea electrica, excavatiile subterane de telecomunicatii, încaperile cu pericol de explozie sau altele, la proiectare si executie se va tine seama si de prescriptiile specifice acestor instalatii.

1.1.3. Acest îndreptar se va aplica la toate lucrarile noi si de reparatii capitale care se executa dupa intrarea în vigoare. De asemenea, se va aplica si în cazul extinderilor sau al altor modificari, în urma carora tensiunile de atingere si de pas se modifica, sau nu sunt îndeplinite conditiile de stabilitate termica a instalatiilor de legare la pamânt.

1.1.4. Categoriile de instalatii de legare la pamânt sunt urmatoarele:

a) instalatii de legare la pamânt de protectie împotriva electrocutarilor; la aceste instalatii se racordeaza si dispozitivele mobile de scurtcircuitare si de legare la pamânt, conform "Normelor specifice de securitate a muncii pentru transportul si distributia energiei electrice MMSS, NP 65/2002;

b) instalatii de legare la pamânt de exploatare, destinate legarii la pamânt a unor elemente facând parte din circuitele curenților normali de lucru;

c) instalatii de legare la pamânt de protectie împotriva supratensiunilor (atmosferice sau de comutatie);

d) instalatii de legare la pamânt pentru asigurarea conditiilor de functionare a protectiilor prin relee împotriva defectelor cu puneri la pamânt respectiv la masa;

e) instalatii de legare la pamânt folosite în comun, destinate atât pentru scopuri de protectie, cât si pentru scopuri de exploatare a instalatiilor electrice.

1.1.5. Elementele care trebuie legate la pamânt (sau la nul în cazul schemei TN) pentru protectia împotriva electrocutarilor sunt indicate în STAS 12604/4-89; conform acestor prevederi legarea la pamânt se va executa pentru toate elementele conductoare care nu fac parte din circuitele curenților de lucru, dar care în mod accidental ar putea intra sub tensiune (printr-un contact direct, prin defect de izolatie, prin intermediul unui arc electric etc.) cum sunt:

a) carcasele echipamentelor si utilajelor fixe si mobile (excavatoare, dragi etc.) ale instalatiilor electrice, inclusiv elementele de sustinere ale acestora (metalice sau din beton armat);

b) îngradirile de protectie (plase, usi pline, bariere) atât cele fixe, cât si cele mobile ori demontabile daca au montate pe acestea aparataj si/sau circuite electrice si, daca nu au un contact electric de rezistenta electrica neglijabila cu alte elemente racordate la instalatia de legare la pamânt;

c) elementele metalice, inclusiv armaturile metalice ale constructiilor de beton armat, din cladirile în care sunt amplasate instalatiile electrice de înalta tensiune si care nu pot fi atinse de persoanele din interiorul sau exteriorul încaperii respective (scari, rame de usi si ferestre, conducte metalice etc.);

d) stâlpii metalici sau din beton armat ai liniilor electrice aeriene (LEA) din zonele cu circulatie frecventa din localitati; în toate cazurile va fi asigurata continuitatea electrica, pâna la priza de pamânt, între armaturile, suporturile metalice ale izolatoarelor, traversele si consolele metalice si armatura stâlpului metalic sau din beton armat.

În cazul în care, prin constructie, suporturile izolatoarelor, traversele sau consolele, sunt în contact electric cu armatura metalica a stâlpului de beton armat sau cu stâlpul metalic, nu mai este necesara o legare suplimentara a acestora la pamânt. În cazul stâlpilor de lemn, legarea la pamânt a acestor elemente este obligatorie numai daca stâlpul de lemn este suntat prin elemente metalice (de exemplu, conductoare de coborâre, cabluri armate etc.);

e) suporturile de fixare ale lanturilor la intrarile conductoarelor în cladiri, precum si armaturile metalice ale trecerilor izolante prin pereti, placile din materiale electroizolante destinate traversarilor

de conductoare prin pereti vor fi încadrate (individual sau în comun) cu câte o rama metalica legata la pamânt;

f) armaturile, ecranele si învelisurile metalice ale tuturor cablurilor electrice (de energie, comanda-control, telemecanica etc.), inclusiv ale celor cu învelis exterior din PVC, cu exceptia acelora la care din considerente de functionare este interzisa o astfel de legare la pamânt;

g) constructiile (stelajele) metalice de sustinere a cablurilor electrice; daca diferite elemente ale constructiei stelajului de cabluri (console, scarite, longeroane etc.) sunt legate galvanic între ele (respectiv, se asigura continuitatea electrica prin sudura sau piese metalice de îmbinare), legarea la pamânt se va putea face numai la extremitatile constructiei; învelisurile metalice ale cablurilor vor fi legate la pamânt la capete, iar la cutiile de îmbinare si derivatie se vor realiza continuitatea electrica a armaturilor si a învelisurilor metalice ale cablurilor;

h) bornele speciale pentru legarea la pamânt de protectie a transformatoarelor de masura, descarcatoarelor si a eclatoarelor de orice tip; aceste borne vor fi marcate cu semnul de legare la pamânt de protectie;

i) conductoarele de protectie ale liniilor electrice aeriene; acestea se vor lega la prizele de pamânt de la toti stâlpii si ale statiilor electrice de la capetele liniilor respective.

j) consolele metalice ale bransamentelor consumatorilor de j.t montate pe acoperis cu învelitoare metalica; în cazul schemei TN se va realiza legarea la conductorul de nul PEN sau PE al bransamentului.

1.1.6. Pentru legarea la pamânt de protectie, la carcase si la elementele de sustinere trebuie prevazute borne speciale marcate cu semnul de legare la pamânt de protectie.

1.1.7. Nu este obligatorie legarea la pamânt de protectie a urmatoarelor elemente:

a) armaturile metalice ale izolatoarelor, traversele, consolele si corpurile de iluminat montate pe stâlpii de lemn sau pe alte constructii din lemn ale liniilor si statiilor electrice de tip exterior, daca legarea la pamânt nu este conditionata de protectia împotriva supratensiunilor atmosferice sau daca portiunea pe stâlpi dintre aceste elemente si sol (sau fata de conductorul de protectie) nu este sustinuta prin elemente conductoare (învelisul metalic sau armatura metalica a unui cablu, un tub metalic de protectie etc.);

b) împrejmuirile (gardurile) incintelor la statiile electrice exterioare;

c) elementele metalice pentru protectia împotriva solicitarilor mecanice la treceri prin pereti si plansee, bratarile de fixare a cablurilor pe pereti, precum si consolele si traversele metalice ale rastelelor (paturilor) de cabluri, daca longeroanele lor de sustinere sunt legate la pamânt;

d) carcasa metalice ale aparatelor de masura, ale releelor si ale altor aparate montate pe tablouri, panouri, dulapuri, pupitre sau pereti, care au un contact sigur de rezistenta electrica neglijabila cu elementele lor de sustinere, iar acestea sunt legate la rândul lor la instalatiile de legare la pamânt de protectie;

e) elementele metalice demontabile sau care se pot deschide, daca au un contact electric de rezistenta neglijabila cu constructiile metalice legate la pamânt, când instalatiile respective sunt în functiune, sau daca nu au aparataj si/sau circuite electrice montate pe acestea;

f) elementele aparținând instalatiilor electrice cu tensiuni nominale de maximum 380 V c.a. între faze si 440 V c.c. în încăperi având caracter de locuri de munca putin periculoase, conform STAS 8275/1987 (de exemplu încăperi de productie, laboratoare sau birouri uscate, aerisite, cu temperaturi de cel mult 30⁰ C si cu pardoseli electroizolante uscate, din lemn, asfalt, cauciuc etc.) cu conditia ca distanta minima dintre echipamentele electrice sau între acestea si obiectele metalice legate la pamânt sa fie de 0,8 m pentru locuinte sau încăperile administrative si de 1,25 m pentru încăperile industriale.

1.1.8. Nu este obligatorie racordarea la instalatia de legare la pamânt, prin conductor de ramnificatie, individual, a carcaselor metalice sau elementelor de sustinere montate pe un panou, tablou, pupitru, celula sau alta constructie metalica sau de beton armat daca sunt în contact electric permanent de rezistenta neglijabila cu constructia respectiva, iar aceasta este legata la pamânt.

Se considera contact electric de rezistenta neglijabila contactul realizat prin sudura, prin suruburi si saibe elastice cu dinti sau evantai, sau prin suprafete pregatite si însurubare asigurata cu saibe elastice.

Doa sau mai multe tablouri, pupitre sau celule alaturate si aflate în contact electric permanent de rezistenta neglijabila între ele, pot constitui un singur ansamblu care se va racorda la instalatia de legare la pamânt prin doua conductoare de ramnificatie în doua puncte distincte dispuse la extremitatile ansamblului.

1.1.9. În incinta unei întreprinderi industriale sau pe o platforma industrială se va realiza totdeauna o rețea generală de legare la pământ, prin legarea între ele a tuturor instalațiilor de legare la pământ din incinta sau platforma respectivă, inclusiv cele aferente instalațiilor de joasă tensiune și se vor îndeplini condițiile impuse instalațiilor de legare la pământ folosite în comun.

1.1.10. În cazul folosirii în comun a instalației de legare la pământ în conformitate cu pct.1.1.9. pentru defectele pe partea de înaltă tensiune, atât la echipamentele electrice de joasă tensiune, cât și la cele de înaltă tensiune, se vor respecta valorile tensiunilor de atingere și de pas indicate în STAS 2612-87 și tabelul 2.3 din prezentul îndreptar pentru zonele cu circulație frecventă, în funcție de timpul de deconectare a curentului de punere la pământ (curentul prin priza de pământ) și categoria rețelei. Fac excepție incintele îngrădite ale instalațiilor electrice, unde are acces numai personalul de specialitate și pentru care se vor respecta valorile indicate în STAS 2612-87 și tabelul 2.3 pentru zonele cu circulație redusă.

1.1.11. În cazul lucrărilor miniere și în cariere, se admite ca rețeaua generală de legare la pământ din excavatiile subterane să fie separată de rețeaua de legare la pământ care deservește instalațiile de înaltă tensiune de la suprafață.

1.1.12. O priză de pământ (naturală și/sau artificială) poate fi folosită în comun pentru două sau mai multe instalații de legare la pământ din categoriile menționate la pct.1.1.4 din prezentul îndreptar.

1.1.13. Se admite folosirea în comun a unei prize de pământ pentru instalațiile de protecție împotriva electrocutărilor și pentru instalațiile de paratrăsnet, cu condiția ca rezistența de dispersie a prizei de pământ folosită în comun să fie mai mică sau cel mult egală cu 1Ω .

De regula, conductoarele de legare la pământ a instalației de paratrásnete vor fi separate până la priza de pământ față de celelalte categorii de instalații.

De la această prevedere fac excepție clădirile (construcțiile) cu structură metalică sau de beton armat, la care aceasta poate fi utilizată drept conductor de legare la priza de pământ comună pentru toate categoriile de instalații.

1.1.14. În cazul instalațiilor de curent continuu, instalațiile de legare la pământ de protecție se vor dimensiona, respectându-se, de regula, aceleași condiții ca și în cazul instalațiilor electrice de curent alternativ, cu excepția valorilor maxime admise ale tensiunilor de atingere și de pas care sunt diferite (tabelul 2.2 din prezentul îndreptar).

În cazul prizelor de pământ de exploatare prin care trec în permanentă curenți de lucru se vor lua măsuri speciale de protecție împotriva corodării electrozilor acestor prize la trecerea curentului continuu.

1.1.15. În cazul instalațiilor de curent continuu este interzisă folosirea elementelor naturale drept prize de pământ de exploatare dacă prin acestea trec curenți de lucru în funcționarea normală.

1.2. Legislația tehnică în vigoare

1.2.1. Standarde

STAS 8275-1987. Protecția împotriva electrocutărilor. Terminologie.

STAS 2612-1987. Protecția împotriva electrocutărilor. Limite admise.

STAS 12604-1987. Protecția împotriva electrocutărilor. Condiții generale.

STAS 12604/4-89. Protecția împotriva electrocutărilor. Instalații electrice fixe. Prescripții generale.

STAS 12604/5-90. Protecția împotriva electrocutărilor. Instalații electrice fixe. Prescripții de proiectare, execuție și verificare.

STAS SR CEI 755-1995. Reguli generale pentru dispozitive de protecție la curent rezidual diferențial.

STAS 4102-1985. Piese pentru instalații de protecție prin legare la pământ.

STAS 832-1979. Influențe ale liniilor de energie electrică asupra liniilor de telecomunicații.

Limite admise și condiții de calcul (cu anexa B privind rețelele cu neutrul legat la pământ prin rezistența din 1988); aflat în revizuire.

STAS 6290-1980. Încrucșări între liniile de energie electrică și liniile de telecomunicații; aflat în revizuire.

STAS SR 831-2001. Utilizarea în comun a stâlpilor pentru linii aeriene de energie electrică

urbana, instalatii de telecomunicatii, retele de televiziune prin cablu (CAT_v) si alte utilitati.

1.2.2. Normative, norme, instructiuni, fise tehnologice

- NP I-7-2002. Normativ pentru proiectare si executarea instalatiilor electrice cu tensiuni pâna la 1000 V c.a si 1500 V c.c.
- NP I-20-1994. Normativ privind protectia constructiilor.
- Norme generale de protectia muncii. (Aprobate cu ordinul MMPS nr. 578/1996 si Ordinul Ministerului Sanatatii nr. 5840/1996).
- NP 65/2002. Norme specifice pentru securitatea muncii pentru transportul si distributia energiei electrice - MMSS.
- NP 111/2001. Norme specifice pentru securitatea muncii la utilizarea energiei electrice în medii normale.
- NTE 001/03/00. Normativ privind alegerea izolatiei, coordonarea izolatiei si protectia instalatiilor electroenergetice împotriva supratensiunilor.
- PE 501/1985. Normativ privind proiectarea protectiilor prin relee si a automatizarilor instalatiilor electrice ale centralelor si statiilor.
- PE 116/1994. Normativ de încercari si masuratori la echipamente si instalatii electrice.
- 1E-I_p 35/1-1990. Îndreptar de proiectare pentru retele de medie tensiune cu netrul tratat prin rezistenta. Protectia în statii si posturi de transformare; aflat în revizuire.
- 1RE-I_p 35/2-1992. Idem. Instalatii de legare la pamânt pentru linii aeriene, cabluri subterane, statii si posturi de transformare; aflat în revizuire.
- 1.E-I_p 31-86. Instructiuni de proiectare si executie a legaturilor pilot din punct de vedere al protectiei împotriva influentelor prin cuplaj inductiv si rezistiv.
- 3.RE-I 23/1974. Instructiuni pentru exploatarea si întretinerea instalatiilor de legare la pamânt.
- F - 1E - 8/1974. Fisa tehnologica. Instalatii electrice. Executarea instalatiilor de legare la pamânt.
- 1.RE-I_p 6-1976. Îndreptar de proiectare pentru prize de pamânt cu bentonita.
- 3.RE-FT 61-77. Executia si verificarea prizelor de pamânt cu bentonita.
- 3.RE-I_p 41-92. Instructiuni de proiectare si exploatare privind protectia influentelor datorate apropiierilor dintre liniile electrice aeriene.
- 3 L-I-225 - 2002. Instructiuni de aplicare a standardului STAS 831-2002.
- 1RE-I-226-2002. Instructiuni de realizare a protectiilor împotriva supratensiunilor în instalatiile electrice de joasa tensiune.
- 1RE-I-227-2002. Instructiuni de determinare prin masurari a tensiunilor de atingere si de pas la instalatiile din sistemul de distributie a energiei electrice.

1.3. Terminologia folosita

Terminologia specifica în sensul prezentului îndreptar este urmatoarea:

1.3.1. Stâlpul cu aparataj este stâlpul cu sigurante, întreruptoare, separatoare, transformatoare de putere si de masura, descarcatoare prevazute cu contoare, bobine, condensatoare, cutii metalice de cabluri, sau alte aparate asemanatoare; nu intra în aceasta categorie stâlpii cu descarcatoare fara contoare, acesti stâlpi fiind considerati ca si stâlpii fara aparataj.

1.3.2. Limitele unei instalatii de legare la pamânt sunt liniile determinate de punctele de amplasare ale electrozilor marginali (extremi) ai prizelor de pamânt legate galvanic între ele cu conductoare îngropate în pamânt.

1.3.3. Zonele din localitati sunt zonele cuprinse în perimetrul constructibil al localitatii.

1.3.4. Incinta industriala este teritoriul delimitat de împrejurimile exterioare (gardurile) ale unei unitati industriale.

1.3.5. Incinta agricola este teritoriul delimitat de împrejurimile exterioare (gardurile) ale unei unitati agricole.

1.3.6. Incinta agricola cu circulatie frecventa este incinta îngradita si supravegheata permanent în care se desfasoara procese tehnologice de prelucrare si depozitare în amenajari speciale a

produselor agricole (prelucrarea furajelor, sortarea fructelor etc.), fermele zootehnice, silozuri colectoare si statiile de masini agricole.

1.3.7. Zona (incinta) agricola cu circulatie redusa este zona neîngradita care nu intra în categoria incintelor agricole cu circulatie frecventa (pct.1.3.6), cum sunt culturile mari, îngradirile cu legume, livezile cu pomi, viile (cu sau fara spalieri) etc.

Terminologie conform STAS 8275-1987

Nr.crt.	Termen	Definitie
0	1	2
1.3.8	Electrocutare	Efect fiziopatologic determinat de trecerea unui curent electric prin corpul omului.
1.3.9	Zona de manipulare Sinonim: volum de accesibilitate	Spatiul în care stacioneaza sau circula oameni si care este limitat de catre suprafata pe care omul o poate atinge fara mijlocirea unui obiect. Acesta are dimensiunile minime conform fig.1 (conform STAS 8275).
1.3.10	Sistem de protectie	Ansamblul de doua sau mai multe mijloace si/sau masuri de protectie.
1.3.11	Loc de munca putin periculos	Spatiu care în conditii normale este caracterizat simultan prin urmatoarele conditii: - umiditate relativa a aerului, maximum 75%, la temperatura aerului cuprinsa între 15 ... 30 ⁰ C; - pardoseala (amplasament) izolanta.
1.3.12	Mediu periculos Sinonim: loc de munca periculos	Spatiu caracterizat prin cel putin una din urmatoarele conditii: - umiditatea relativa a aerului, peste 75%, dar cel mult 97% la temperatura aerului peste 30 ⁰ C (dar cel mult 35 ⁰ C); - pardoseala cu proprietati conductoare (beton, pamânt); - parte conductoare în legatura electrica cu pamântul care ocupa cel mult 60% din zona de manipulare; - prezenta de pulberi conductoare (pilitura de metal, grafit etc.); - prezenta de fluide care micsoreaza impedanta corpului uman.
1.3.13	Mediu foarte periculos Sinonim: loc de munca foarte periculos	Spatiu caracterizat prin cel putin una din urmatoarele conditii: - umiditatea relativa a aerului peste 97% la temperatura aerului peste 35 ⁰ C; - parti conductoare în legatura electrica cu pamântul care ocupa mai mult de 60% din zona de manipulare; - prezenta de agenti corozivi.
1.3.14	Atingere directa	Atingerea de catre om nemijlocita sau prin intermediul unui element conductor a partilor active ale unei instalatii electrice
1.3.15	Atingere indirecta	Atingerea de catre om a unor parti intrate accidental sub tensiune datorita unui defect electric.
1.3.16	Echipament electric	Ansamblu de elemente destinat producerii, transportului, distributiei, acumularii, masurarii, transformarii sau utilizarii energiei electrice.
1.3.17	Echipament (utilaj) electric fix	Echipament care are racord fix si amplasament fix si care nu poate fi deplasat sub tensiune. OBSERVATIE: Fixarea echipamentului se efectueaza prin suruburi, sudura sau greutate proprie.

1.3.18	Echipament (utilaj) electric mobil	Echipament care are racord mobil, amplasament variabil si a carui deplasare, dirijare, sprijinire se efectueaza de catre om sau prin mijloace proprii. Schimbarea amplasamentului se poate face cu sau fara întreruperea alimentarii cu energie electrica.
1.3.19	Echipament (utilaj) electric portabil	Echipament care are racord mobil si a carui greutate este suportata de om în totalitate în timpul exploatarei.
1.3.20	Punct neutru Sinonim: neutru	Punct comun al partilor active ale sursei de tensiune ale carui diferente de potential, în valori absolute, fata de fiecare conductor activ (faza) sunt egale în functionare normala.
1.3.21	Punctul de nul Sinonim: nul	Neutru legat la o priza de pamânt printr-o rezistenta electrica neglijabila.
1.3.22	Schema de protectie	Schema în care se reprezinta situatia punctului neutru al sursei de tensiune si a maselor echipamentelor sau utilajelor electrice, în raport cu pamântul (masa). OBSERVATIE: Schemele de legare la pamânt sunt notate cu simboluri conventionale literale, cu urmatoarele semnificatii: -prima litera indica situatia punctului neutru al sursei de tensiune în raport cu pamântul (masa); -a doua litera indica situatia maselor echipamentelor sau utilajelor electrice în raport cu pamântul.
1.3.23	SchemaTT	Schema în care cel puțin un punct al partilor active ale sursei de tensiune este legat direct sau printr-o rezistenta de valoare mica la o priza de pamânt (T), iar masele echipamentelor sau utilajelor electrice sunt legate la o priza de pamânt (T). OBSERVATIE: Litera T provine de la cuvântul francez - terre - (pamânt) si este o conventie internationala.
1.3.24	Schema TN	Schema în care cel puțin punctul neutru al sursei de tensiune este legat la priza de pamânt (T), iar masele echipamentelor (utilajelor) electrice sunt legate la nul (N).
1.3.25	Schema IT	Schema în care toate partile active ale sursei de tensiune sunt izolate fata de pamânt sau punctul neutru al acestei surse este legat la pamânt, printr-o impedanta de valoare mare, iar masele echipamentelor sau ale utilajelor electrice sunt legate direct la pamânt (T). OBSERVATIE: Litera I provine de la cuvântul "izolat".
1.3.26	Borna de protectie	Borna prevazuta pentru legarea unui conductor de protectie.
1.3.27	Bara de protectie	Element conductor prevazut cu mai multe borne de protectie la care se leaga conductoare de protectie.
1.3.28	Zona de potential nul. Sinonim: pamânt de referinta	Zona în care tensiunea între doua puncte ale suprafetei solului este mai mica de 0,3% pe metru din tensiunea totala a prizei, la trecerea curentului de defect prin acesta.
1.3.29	Zona cu circulatie frecventa	Zona neîngradita care se afla la o distanta mai mica sau egala cu 15 m, de drumuri, sosele, îngradirile locuintelor, unitatilor industriale sau agricole, accesibila si altor persoane decât cele care fac parte din personalul de exploatare.
1.3.30	Zona cu circulatie redusa	Zona îngradita în care are acces numai personalul special instruit, precum si zona aflata la distanta mai mare cu 15 m, de drumuri, sosele, locuinte sau

		îngradirile acestora.
1.3.31	Punere la pamânt	Atingerea accidentală între o parte activă și pamânt sau o parte conductoare în contact cu pamântul.
1.3.32	Punere la masa	Atingerea accidentală între o parte activă și masa.
1.3.33	Rezistența electrică de calcul a corpului omului	Rezistența electrică a corpului omului considerată în calculul de dimensionare și verificare a instalațiilor împotriva electrocutării.
1.3.34	Timpul de deconectare	Durată între producerea defectului și deconectarea circuitului defect de la sursa de alimentare cu energie electrică.
1.3.35	Masa	Parte conductoare a unui echipament (utilaj) accesibilă, care poate fi atinsă direct de om și care poate fi pusă sub tensiune sau volt în cazuri speciale. OBSERVAȚII: 1. Exemple de masa: carcusele metalice care sunt izolate de partile active ale echipamentelor; 2. Exemple de masa ca parte conductoare active sau la care se leagă partile active ale circuitelor de comandă, carcusele unor aparate electronice, sinele cailor ferate electrificate, sinele de tranvai, etc.
1.3.36	Conductor de protecție (simbol PE)	Conductor utilizat pentru realizarea protecției împotriva electrocutării și care leagă masele cu: - alte mase; - o priză de pamânt; - un conductor de nul sau cu un alt conductor legat la pamânt (la masa); - o parte conductoare străină; - dispozitive de protecție.
1.3.37	Conductor de protecție principal	Conductor comun la care se leagă electric conductoare de protecție de ramificație.
1.3.38	Conductor de protecție de ramificație	Conductor prin care se stabilește legătura dintre o masă și un conductor de protecție principal.
1.3.39	Conductor de egalizare a potențialelor	Conductor de protecție, destinat aducerii la același potențial a maselor și a partilor conductoare străine.
1.3.40	Conductor neutru (simbol N)	Conductor legat la punctul neutru destinat transportului energiei electrice.
1.3.41	Conductor median (simbol M)	Conductor legat la punctul median al sursei de tensiune continuă și parcurs de curent electric.
1.3.42	Conductor de nul folosit în comun (simbol PEN)	Conductor care îndeplinește în același timp funcțiile de conductor de nul de protecție și de conductor de nul de lucru.
1.3.43	Conductor de legare la priză de pamânt	Conductor prin care se stabilește legătura dintre priză de pamânt și conductorul principal de legare la pamânt sau rețeaua conductoarelor principale de legare la pamânt.
1.3.44	Conductor de nul	Conductor care se leagă la nul.
1.3.45	Conductor de nul de protecție	Conductor de protecție prin care se leagă masele la punctul de nul.
1.3.46	Conductor de nul de lucru	Conductor legat la punctul de nul destinat a transporta energie electrică.
1.3.47	Tensiune joasă	Tensiunea de lucru, aflată în următoarele limite: - cel mult 250 V față de pamânt în cazul rețelelor legate la pamânt; - cel mult 1000 V între faze (conductoare sau borne) în cazul rețelelor izolate față de pamânt.
1.3.48	Tensiune înaltă	Tensiunea de lucru mai mare decât tensiunea joasă.

1.3.49	Tensiunea de atingere	Parte din tensiunea unei instalatii de legare la pamânt la care este supus omul aflat la o distanta de 0,8 m fata de masa pe care o atinge (a se vedea fig.8). OBSERVATIE: În cazul verificarilor prin masurari, distanta fata de masa se considera cel putin egala cu 1 m.
1.3.50	Tensiunea de pas	Parte din tensiunea unei instalatii de legare la pamânt la care este supus omul când atinge simultan doua puncte de pe sol, pe directia gradientului de potential, aflate la o distanta de 0,8 m între ele (a se vedea fig.8). OBSERVATIE: În cazul verificarilor prin masurari, lungimea pasului se considera de 1 m.
1.3.51	Coeficient de atingere	Raport dintre tensiunea de atingere si tensiunea instalatiei de legare la pamânt.
1.3.52	Coeficient de pas	Raport dintre tensiunea de pas si tensiunea instalatiei de legare la pamânt.
1.3.53	Tensiunea prizei de pamânt	Tensiunea ce apare între priza de pamânt si zona de potential nul la trecerea unui curent prin priza de pamânt.
1.3.54	Tensiunea instalatiei de legare la pamânt	Tensiunea ce apare între locul de intrare a curentului în instalatia de legare la pamânt si zona de potential nul la trecerea unui curent prin instalatia de legare la pamânt.
1.3.55	Tensiunea redusa Sinonim: tensiune foarte joasa	Tensiunea de lucru a echipamentelor electrice care nu depaseste 50 V în curent alternativ si 120 V în curent continuu si care se foloseste ca masura de protectie împotriva electrocutarii, în conditiile din STAS 2612-1987. OBSERVATIE: Valorile tensiunii reduse se stabilesc în functie de standardele de produs.
1.3.56	Protectie împotriva atingerilor directe	Ansamblul masurilor de protectie prin care se asigura protectia omului împotriva electrocutarii prin atingere directa.
1.3.57	Protectie împotriva atingerilor indirecte	Ansamblul masurilor de protectie prin care se asigura protectia omului împotriva electrocutarii prin atingere indirecta.
1.3.58	Protectie prin legare la pamânt	Masura de protectie împotriva electrocutarii, care consta în legarea maselor la o priza de pamânt.
1.3.59	Protectia prin legare la nul	Masura de protectie împotriva electrocutarii, care consta în legarea maselor la nul.
1.3.60	Instalatie de legare la nul	Ansamblul conductoarelor de nul de protectie si al instalatiilor de legare la pamânt destinat protectiei prin legare la nul.
1.3.61	Protectie prin separare	Masura de protectie împotriva electrocutarii prin atingere indirecta, care consta în alimentarea unui echipament electric cu ajutorul unui transformator de separare sau a unui grup motor generator.
1.3.62	Egalizarea potentialelor	Masura de protectie împotriva electrocutarii care consta în reducerea tensiunii de contact între mase sau între acestea si partile conductoare straine.
1.3.63	Dirijarea distributiei potentialelor	Masura de protectie care consta în modificarea distributiei potentialelor printr-o anumita dispunere a electrozilor prizei de pamânt în scopul micșorarii tensiunilor de atingere si de pas.
1.3.64	Protectie prin izolarea amplasamentului	Masura ce consta în izolarea principala sau suplimentara a echipamentelor electrice si elementelor conductoare straine în contact cu pamântul din zona de manipulare care asigura:

		- protectia împotriva trecerii unor valori periculoase de curent prin om, la atingerea partilor active sau la lucrul sub tensiune; - micșorarea tensiunilor de contact (atingere) și de pas.
1.3.65	Protectie automata prin controlul rezistentei de izolatie	Masura utilizata în schemele IT, care asigura semnalizarea și/sau deconectarea unui defect de izolatie a unui conductor activ fata de pamânt (masa).
1.3.66	Protectie automata împotriva curentilor de defect (simbol PACD)	Masura ce asigura deconectarea rapida și automata a alimentarii cu energie electrica a unei instalatii, unui echipament sau utilaj în cazul aparitiei unui curent de defect.
1.3.67	Protectie automata împotriva tensiunilor de contact (simbol PATC)	Masura ce asigura deconectarea alimentarii cu energie electrica a unui echipament sau utilaj în cazul aparitiei unor tensiuni de contact periculoase.
1.3.68	Pamânt	Sol cu proprietati conductoare al carui potential se considera prin conventie nul, în afara zonei de influenta a prizelor de pamânt.
1.3.69	Rezistivitatea pamântului	Rezistenta electrica între doua fete opuse ale unui cub de pamânt, cu latura de un metru.
1.3.70	Priza de pamânt	Element conductor sau ansamblu de elemente conductoare (electrozi) în contact cu pamântul pentru trecerea curentului în sol.
1.3.71	Priza de pamânt artificiala	Priza de pamânt construita special pentru conducerea curentului în sol.
1.3.72	Priza de pamânt naturala	Element conductor sau ansamblu de elemente conductoare al unei constructii sau instalatii, care îndeplineste și conditiile unei prize de pamânt.
1.3.73	Priza de pamânt locala	Priza de pamânt simpla sau multipla care deserveste un echipament sau un grup de echipamente (utilaje) electrice alaturate.
1.3.74	Priza de pamânt simpla	Priza de pamânt construita dintr-un singur electrod.
1.3.75	Priza de pamânt multipla	Priza de pamânt construita din mai multe prize simple de acelasi fel.
1.3.76	Priza de pamânt complexa	Priza de pamânt construita din doua sau mai multe feluri de prize simple (orizontale sau verticale), legate electric între ele.
1.3.77	Priza de pamânt de suprafata	Priza de pamânt constituita din electrozi îngropati la adâncimea de cel mult 1 m de la suprafata solului.
1.3.78	Priza de pamânt de adâncime	Priza de pamânt constituita din electrozi îngropati la o adâncime cuprinsa între 1 ... 4 m.
1.3.79	Priza de pamânt de mare adâncime	Priza de pamânt constituita din electrozi îngropati la o adâncime de peste 4 m.
1.3.80	Priza de pamânt pentru egalizarea potentialelor	Priza de pamânt, de regula, multipla, care, în functie de forma și dispozitia electrozilor, serveste la egalizarea potentialelor.
1.3.81	Priza de pamânt pentru dirijarea distributiei potentialelor	Priza de pamânt complexa care în functie de forma și dispozitia electrozilor, serveste la obtinerea unei anumite distributii a potentialelor.
1.3.82	Prize de pamânt electric distincte	Prize de pamânt departate una de alta, astfel încât curentul care trece printr-una din ele nu modifica potentialul celorlalte prize.
1.3.83	Priza de pamânt de fundatie	Priza ale carei elemente sunt înglobate în betonul fundatiei.
1.3.84	Rezistenta de dispersie a unei prize de pamânt	1. Rezistenta electrica a pamântului între electrozii prizei de pamânt și zona de potential nul; 2. Raport dintre tensiunea prizei de pamânt și curentul

		de punere la pamânt prin priza.
1.3.85	Instalatie de legare la pamânt	Ansamblu format din conductoarele de legare la pamânt si priza de pamânt prin care se realizeaza legarea la pamânt.
1.3.86	Instalatie de legare la pamânt de protectie	Instalatie cu ajutorul careia se realizeaza protectia prin legarea la pamânt.
1.3.87	Instalatie de legare la pamânt de exploatare (de lucru)	Instalatie prin care se realizeaza legarea la pamânt a unui punct al partilor active ale unei retele.
1.3.88	Instalatie de legare la pamânt folosita în comun	Instalatie prin care se realizeaza simultan functiile de protectie si de exploatare.
1.3.89	Instalatie de legare la pamânt pentru masurare	Instalatie utilizata pentru masurarea unor parametri electrici ai instalatiei de legare la pamânt.
1.3.90	Instalatie de legare la pamânt pentru executarea de lucrari.	Instalatie realizata cu scopul legarii la pamânt a unor parti active scoase de sub tensiune pentru executarea unei lucrari.
1.3.91	Instalatie (retea) generala de legare la pamânt	Totalitatea instalatiilor de legare la pamânt (legate între ele) dintr-o incinta sau platforma industrială.
1.3.92	Rezistenta de dispersie a unei instalatii de legare la pamânt	1. Rezistenta de dispersie rezultanta a prizelor de pamânt si conductoarelor de legatura dintre acestea ce constituie instalatia; 2. Raport dintre tensiunea instalatiei de legare la pamânt si curentul de trecere la pamânt prin priza.

Terminologie pentru protectia PACD cu DDR:

1.3.93. Conductoare active (de lucru): ansamblul conductoarelor unui circuit destinat alimentarii cu energie electrica, inclusiv conductorul de nul de lucru N. Elementele conductoare de curent electric ale consumatorului pentru functionarea normala a instalatiei (receptoarelor) electrice se numesc parti active (de lucru).

1.3.94. Masa: partile conductoare de curent care pot fi atinse de om si care în mod normal sunt izolate fata de partile active, dar care accidental pot intra sub o tensiune periculoasa (la un defect de izolatie); exemple: carcase si ecranari metalice, elemente de sustinere etc.

1.3.95. Curent de defect I_d : curentul rezultat la un defect de izolatie.

1.3.96. Curent diferential rezidual I_{Δ} : valoarea eficace a sumei vectoriale a curentilor care trec prin conductoarele active a unui circuit într-un punct al instalatiei.

1.3.97. Curent diferential rezidual nominal $I_{\Delta n}$: curentul diferential rezidual I_{Δ} pentru care este dimensionata protectia PACD cu DDR.

1.3.98. Curent diferential rezidual de functionare I_f : valoarea curentului diferential rezidual minim care poate provoca (determina) functionarea dispozitivului diferential la curent rezidual DDR; acest curent se defineste prin relatia pentru 20° C: $(I_{\Delta n}) / 2 \leq I_f \leq I_{\Delta n}$.

1.3.99. Conductor de nul de lucru N: conductor de nul folosit exclusiv drept conductor activ.

1.3.100. Conductor de protectie PE: conductor folosit exclusiv pentru legaturi de protectie în vederea asigurarii conditiilor de functionare a DDR. Conductorul de nul folosit în comun pentru lucru si pentru protectie PEN este conductorul folosit atât drept conductor activ N cât si drept conductor de protectie PE.

2. VALORILE DE CALCUL MAXIM ADMISE ALE TENSIUNILOR DE ATINGERE SI DE PAS

2.1. Conditii generale

2.1.1. În conformitate cu legislatia tehnica în vigoare, STAS 2612-87 si STAS 12604-87 (STAS 12604/2-87 si STAS 12604/3-87) rezulta ca se realizeaza protectia necesara împotriva electrocutarilor prin atingere indirecta, daca cu ajutorul instalatiei de protectie se obtin valori sub limita admisa pentru urmatoarele tensiuni accidentale:

- tensiunile de atingere si de pas în zonele de influente ale instalatiilor de legare la pamânt prin care trec curentii de defect; prin zona de influenta a unei instalatii de legare la pamânt se înțelege suprafata terenului ocupat de electrozii prizelor aferente, plus vecinatatile în care potentialele la suprafata solului sunt diferite de "zero"; se numeste zona de potential nul zona în care potentialele la suprafata solului sunt "practic zero", respectiv negliabile fata de tensiunea totala U_p (fata de un punct de referinta aflat în zona de potential) a instalatiei de legare la pamânt (a se vedea si pct.1.3.28);

- tensiunile transmise prin instalatii cu diferite destinatii cum sunt conducte cu fluide (apa, gaze, termoficare, combustibili lichizi etc.), caile de rulare, conductoare ale liniei de racord scurtcircuitate si legate la pamânt, la capete etc., care ies din zona de influenta a instalatiei de legare la pamânt si care ajung în zone de potential nul sau în zone de influenta a altor prize de pamânt, unde pot fi atinse de persoane; trebuie avute în vedere si tensiunile de atingere la consumatorii casnici sau industriali din localitatile alimentate din posturile de transformare racordate la statiile de 110 kV/MT prin cabluri subterane, considerând un defect în statia de înalta tensiune iar conductoarele cablului de racord scos de sub tensiune, scurtcircuitate si legat la pamânt la mabele capete (la priza statiei si la priza postului de transformare la care este legat si nulul retelei de joasa tensiune care alimenteaza cu energie electrica consumatorii);

- tensiuni prin cuplaj rezistiv U_k în retelele de comanda-control si de telecomunicatii aflate în contact cu elemente ale instalatiei de legare la pamânt sau cu elemente racordate la aceasta sau care strabat zone de influenta ale instalatiei de legare la pamânt.

2.1.2. Valorile maxime admise ale tensiunilor de atingere U_a si de pas U_{pas} sunt cele din STAS 2612-1987 (12604/2-87), în functie de:

- zona de amplasare a instalatiei sau echipamentului electric (cu sau fara circulatie frecventa de persoane);

- categoria (tipul) retelei sau instalatiei electrice (joasa tensiune sau înalta tensiune, respectiv izolata fata de pamânt, simbol I, sau legata la pamânt, simbol T);

- numarul sistemelor distincte de protectie prevazute;

- timpul de eliminare a defectului prin protectia de baza.

2.1.3. Valorile maxime admise ale tensiunii prin cuplaj rezistiv U_k sunt cele din STAS 832, în functie de timpul de eliminare a defectului prin protectia de baza.

2.1.4. Atât în retelele de joasa tensiune cât si în cele de înalta tensiune trebuie sa se prevada cel puțin un sistem distinct de eliminarea defectului.

Prin sistem distinct de eliminare a defectului se înțelege sistemul destinat declansarii în cazul unui defect si cuprinde dispozitive de protectie (relee, sigurante etc.) si de întrerupere (întreruptoare, sigurante etc.). Doua sau mai multe dispozitive de protectie asociate aceluiasi întreruptor constituie un sistem distinct de eliminare a defectului.

2.1.5. În cazul folosirii în comun a instalatiilor de legare la pamânt pentru instalatiile de înalta tensiune (î.t.) si de joasa tensiune (j.t.), dimensionarea trebuie sa aiba în vedere atât defectele posibile pe partea de joasa tensiune, când pentru toate echipamentele (de j.t. si î.t.) se vor respecta valorile maxime admise pentru instalatiile de j.t., cât si defectele posibile pe partea de î.t., când pentru toate echipamentele (de j.t. si de î.t.) se vor respecta valorile maxime admise pentru instalatiile de î.t.

2.1.6. În conformitate cu STAS 2612-1987 (12604/2-87) tensiunile de atingere si de pas la instalatiile de î.t. pentru timpii de eliminare a defectului prin protectia de baza $t_b \leq 0,4$ s sunt stabilite considerând curentul maxim admis prin corpul omului I_h în functie de timpul de declansare în caz de defect, daca reseaua este legata la pamânt prin rezistor si sunt prevazute doua sisteme distincte de eliminare a defectului (schema T₂T).

2.1.7. La determinarea tensiunii de atingere si de pas într-o anumita situatie data se va considera timpul de deconectare (de eliminare a defectului) prin protectia de baza cea mai rapida prevazuta (prima treapta a protectiei de baza t_b).

2.2. Curentii de calcul prin corpul omului I_h

2.2.1. În tabelul 2.1 se dau limitele maxime ale curentilor prin corpul omului, considerate în calcule pentru conceptia si stabilirea sistemelor de protectie împotriva electrocutarilor si care pot fi

folosite la dimensionarea instalatiilor de legare la pamânt pentru timpii de întrerupere la protectia de baza $t_b \leq 0,4$ s.

Tabelul 2.1

Limitele maxime admise de calcul ale curentilor prin corpul omului I_h (mA) pentru $t_b \leq 0,4$ s

Nr. crt.	Felul curentului	Nr. sistemelor de eliminare a defectului	Timpul de întrerupere la protectia t_b , în s			
			0,1	0,2	0,3	0,4
1.	c.a.	1.1 - un sistem	115	60	50	35
		1.2 - doua sisteme	465	385	265	200
2.	c.c.	2.1 - un sistem	-	115	90	80
		2.2 - doua sisteme	480	440	400	350

Pct.1.2 si 2.2 din tabelul 2.1 de mai sus se refera exclusiv la cazul retelelor de înalta tensiune (6 ... 20 kV) legate la pamânt prin rezistente ohmice, care sunt prevăzute cu doua sisteme distincte de declansare în cazul unui defect cu punere la pamânt; aceste valori stau la baza determinarii tensiunilor de atingere si de pas pentru stâlpii fara aparataj din localitati si din incintele cu circulatie redusa unde se folosesc si mijloace individuale de protectie izolante (a se vedea tabelul 2.3 de mai jos).

2.2.2. În cazul protectiei împotriva electrocutarilor prin atingere indirecta, limita de calcul maxima admisa a impedantei totale a corpului omului Z_h (se poate considera egala cu rezistenta ohmica a corpului R_h) unde $Z_h \cong R_h = 3000 \Omega$.

2.2.3. În retelele de 6 ... 20 kV legate la pamânt prin rezistenta simbol T_2T si care sunt prevazute cu doua sisteme distincte de declansare (în care se pot considera valorile din tabelul 2.1 de mai sus), trebuie sa fie îndeplinite urmatoarele conditii:

a) pe fiecare circuit de alimentare sa existe câte o protectie homopolara de curent PHCL; în cazul LEA se va prevedea si o protectie împotriva punerilor la pamânt rezistive PPRL;

b) pe legatura la pamânt a neutrului retelei sa existe o protectie homopolara de curent PHCN; în cazul retelelor cu LEA sau mixte se va prevedea suplimentar si o protectie împotriva punerilor la pamânt rezistive PPRN;

c) fiecare din cele doua protectii de la pct. "a" si "b" sa actioneze separat asupra a doua întreruptoare diferite de pe circuitul curentului de punere la pamânt, cum sunt: întreruptorul de pe linia cu defect si întreruptorul de pe transformatorul de 110/20 kV din statia de alimentare;

d) pe barele statiei sa existe o protectie homopolara de tensiune care sa declanseze întreruptorul de pe transformatorul de 110/20 kV la prima punere la pamânt, în cazul în care se întrerupe circuitul de legare la pamânt a neutrului retelei;

e) timpii de deconectare la protectiile de baza trebuie sa fie, de regula, $t_b \leq 0,4$ s si, în cazuri justificate, de maximum 1,2 s; în cazul în care acest timp este mai mare decât 1,2 s, valorile tensiunilor de atingere si de pas sunt cele referitoare la retelele obisnuite (cazul când se prevede un singur sistem de protectie);

f) în nici o situatie normala sau de avarie si indiferent de durata, curentul de scurtcircuit monofazat nu trebuie sa depaseasca valoarea de calcul.

2.2.4. În cazul dimensionarii instalatiei de legare la pamânt, considerând curentii prin corpul omului conform tabelului 2.1, trebuie sa fie îndeplinite urmatoarele conditii:

- reseaua sa fie legata la pamânt (schemele T_1T sau T_2T); retelele legate la pamânt cu tensiuni nominale de lucru de 110 kV si mai mari se încadreaza totdeauna în schema T_1T ;

- tensiunea la care este supus omul, U_h de calcul, trebuie sa fie cel mult egala cu valoarea maxima admisa a tensiunii de atingere U_a si de pas U_{pas} , stabilita de STAS 2616-87 pentru situatia respectiva:

$$U_h = R_h \cdot I_h \leq U_a \quad \text{si} \quad R_h \cdot I_h \leq U_{pas}$$

(a se vedea si tabelul 2.3 de mai jos pentru timpii de calcul $t_b \leq 0,4$ s).

În cazul retelelor cu doua sisteme independente de eliminare a unui defect, curentii maximi admisi prin corpul omului sunt mult mai mari decât în cazul retelelor cu un singur sistem de eliminare a defectului. De exemplu, la un timp de întrerupere de 0,2 s, valoarea uzuala la protectiile homopolare de curent, curentul maxim admis la o retea cu doua sisteme independente de eliminare a defectului este $I_h = 367$ mA, pe când la retelele cu un singur sistem de eliminarea a defectului este $I_h = 60$ mA (de 6 ori mai mic). De aici reies avantajele deosebite ale retelelor din

prima categorie mentionata mai sus. În primul rând, conditiile de dimensionare a prizelor de pamânt vor fi mult mai usoare, conducând la instalatii mai simple, cu investitii si volume de lucru si de materiale mult mai reduse.

2.3. Tensiuni de atingere U_a si de pas U_{pas} (conform STAS 2612-1987)

2.3.1. Valorile maxime admise pentru tensiunile de atingere si de pas sunt cele indicate:

- din tabelul 2.2 pentru echipamentele (instalatiile) electrice de joasa tensiune în cazul unui defect în instalatia de joasa tensiune în functie de categoria retelei de alimentare, de zona de amplasare a echipamentului si de timpul de întrerupere în caz de defect;
- din tabelul 2.3 pentru echipamentele (instalatiile) electrice de înalta tensiune în cazul unui defect în instalatia de înalta tensiune în functie de tipul echipamentului (instalatiei electrice), de zona de amplasare, de tipul retelei si de timpul de întrerupere în caz de defect;
- în cazul folosirii în comun a instalatiilor de protectie (ca, de exemplu, cea de legare la pamânt) pentru instalatii sau echipamente electrice de înalta si joasa tensiune, tensiunile de atingere si de pas maxime admise pentru ambele categorii, sunt cele din tabelul 2.2, când se considera defectul pe partea de joasa tensiune si cele din tabelul 2.3, când se considera defectul pe partea de înalta tensiune.

Tabelul 2.2

Tensiuni de atingere si tensiuni de pas (în V) maxime admise în cazul unui defect la instalatiile electrice de joasa tensiune.

Nr. crt.	Categoria retelei	Zona de amplasare a instalatiei electrice	Tensiunea maxima admisa U_a si U_{pas} pentru $t_b \leq 3$ s
1.	de curent alternativ	a) la suprafata	50*
		b) în subteran la exploatare miniere	25*
2.	de curent continuu	a) la suprafata	120
		b) în subteran la exploatare miniere	25

* în concordanta cu prevederile normativului I-7-2002 aliniat la prevederile SR EN 60364-4

Nr. crt.	Tipul echipamentului -instalatiei electrice	Zone de amplasare	Tipul rețelei	Tensiunea maxima admisa de atingere si de pas pentru timpul de întrerupere la protectia de baza de:								
				0,2 s	0,3 s	0,4 s	0,5 s	0,6 s	0,7 s	0,8-1,2 s	1,2- 3 s	> 3 s
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.
1.	Echipamentul electric (exclusiv stâlpii LEA)	a) circulatie frecventa	I, T ₁ T ₂	125 250	100 200	85 165	80 150	75 140	70 130	65 125	65 65	50 50
		b) circulatie redusa, fara mijloace ind. de protectie izolante	I, T ₁ T ₂	250 500	200 400	165 330	150 300	140 280	130 260	125 250	125 125	125 125
		c) circulatie redusa cu folosirea mijloacelor individuale de protectie izolante	I, T ₁ T ₂	500 1100	400 795	330 600	300 500	280 500	260 500	250 500	250 250	250 250
2.	Stâlpii LEA fara aparataj	a) circulatie frecventa din localitati	I T ₁ T ₂	125 250 1100	125 250 795	125 250 600	125 250 500	125 250 500	125 250 500	125 250 500	125 250 250	125 250 250
		b) circulatie frecventa din afara localitatilor	I, T ₁ , T ₂	nu se standardizeaza								
		c) circulatie redusa	I, T ₁ , T ₂	nu se standardizeaza								
		d) incinte industriale si agricole, plaje si terenuri camping	I, T ₁ T ₂	125 250	125 250	125 250	125 250	125 250	125 250	125 250	125 125	125 125
3.	Stâlpii LEA cu aparataj	a) în general indiferent de zona	I T ₁ T ₂	125 250 500	125 250 500	125 250 500	125 250 500	125 250 500	125 250 500	125 250 500	125 250 250	125 250 250
		b) incinte industriale si agricole, plaje si terenuri camping	I T ₁ , T ₂	125 250	125 250	125 250	125 250	125 250	125 250	125 250	125 125	125 125

OBSERVATIE:

În tabelul 2.3, notiile din coloana 4, au urmatoarele semnificatii:

I - conform pct. 3.2.

T₁ - retea legata la pamânt cu un sistem de eliminare a defectului

T₂ - retea legata la pamânt cu doua sisteme de eliminare a defectului si care îndeplineste conditiile de la pct. 2.2.3.

3. RETELE ELECTRICE DE JOASA TENSIUNE

3.1 Retele legate la pamânt

3.1.1. Conditia generala privind alegerea sistemului de protectie.

3.1.1.1. În cazul retelelor legate la pamânt (simbol T), în conformitate cu STAS 12604-1987 (12604/3-87) pct.3.1.9.2, de regula se aplica protectia prin legare la nul (simbol N), rezultând schema TN. Se admite numai pe baza unei justificari tehnico-economice aplicarea protectiei prin legare la pamânt (simbol T) si anume schema TT.

3.1.2. Protectia prin legare la pamânt schema TT

3.1.2.1. În retelele legate la pamânt de joasa tensiune, legarea la pamânt de protectie poate fi folosita ca masura principala împotriva electrocutarilor prin atingere indirecta (schema TT) daca se poate obtine cu mijloace justificate tehnic si economic o rezistenta de dispersie a instalatiei de legare la pamânt,

$$R_p \leq \frac{U_a}{I_p}$$

unde:

U_a este tensiunea de atingere maxim admisa, conform subcapitolului 2.3 (respectiv, tabelul 2.2) din prezentul îndreptar, în V;

I_p este curentul de punere la pamânt (curentul prin priza de pamânt) în A, determinat conform pct.3.1.2.2 de mai jos, în functie de protectia maxima din circuitul respectiv.

3.1.2.2. Curentul de punere la pamânt I_p considerat în calculul rezistentei de dispersie maxim admise R_p se determina astfel:

a) În cazul protejarii circuitelor cu rele de protectie maxima (întreruptoare automate):

$$I_p = 1,25 I_{lm}$$

în care:

I_{lm} este curentul de reglaj al protectiei împotriva punerilor la pamânt; în cazul protectiei PACD cu DDR se considera $I_p = I_{\Delta n}$ (a se vedea pct.1.3.97);

b) În cazul protejarii circuitelor numai prin sigurante fuzibile:

$$I_p = k \cdot I_{ns}$$

în care:

I_{ns} este curentul nominal al fuzibilului, iar

$k = 3,5$ pentru $I_{ns} \leq 50$ A si $k = 5$ pentru $I_{ns} \geq 63$ A

Se vor considera I_{lm} sau I_{ns} corespunzator aparatajului care protejeaza echipamentul de puterea cea mai mare, racordat la instalatia de legare la pamânt.

3.1.2.3. Indiferent de rezultatul calcului, rezistenta de dispersie a instalatiei de legare la pamânt va fi mai mica sau cel mult egala cu 4 Ω .

Exemplu: La o instalatie de legare la pamânt având rezistenta de dispersie de 4 Ω fara realizarea protectiei prin legare la nul, se pot racorda echipamente ale caror întreruptoare automate au rele maximale reglate la un curent mai mic sau cel mult egal cu:

$$I_{lm} = \frac{50}{1,25 \times 4}; \quad I_{lm} = 10 \text{ A}$$

sau ale caror sigurante fuzibile au un curent nominal mai mic sau cel mult egal cu:

$$I_{ns} = \frac{50}{3,5 \times 4}; \quad I_{ns} = 3,5 \text{ A}$$

3.1.2.4. În cazul în care este rationala realizarea unei protectii prin legare la pamânt în loc de o protectie prin legare la nul, respectiv este mai economica realizarea unei instalatii de legare la pamânt care sa aiba o rezistenta de dispersie maxima calculata conform pct.3.1.2.1, se va realiza protectia prin legare la pamânt, respectându-se prevederile standardelor STAS 12604/4-89 si STAS 12604/5-90.

În cazuri speciale când nu se asigura declansarea în caz de defect într-un timp mai mic sau cel mult egal cu 3 s, se va aplica protecția PACD pentru deconectarea automata la curenti de defect; în asemenea cazuri se vor aplica prevederile standardului STAS 12604-1987 si a normativului I-7-2002.

Este interzisa realizarea protectiei prin legarea la pamânt, folosind o priza locala separata neracordata la conductorul de nul, daca în alte sectoare ale aceleasi retele electrice de joasa tensiune (se înțelege rețeaua alimentata de la acelasi transformator) se foloseste protectia prin legare la nul (schema TN). Fac exceptie stâlpii LEA care se leaga numai la o priza de pamânt separata, conform cu prevederile pct. 3.1.3.1 si 3.1.3.4.

3.1.2.5. În cazul în care se poate aplica numai legarea la pamânt a echipamentelor (daca se poate obtine rezistenta de dispersie necesara conform pct. 3.1.2.1) se vor folosi prizele de pamânt naturale si se va folosi în comun instalatia de legare la pamânt si pentru echipamentele de înalta tensiune, dimensionata în acest scop.

Exemplu: La o instalatie de legare la pamânt folosita în comun, având rezistenta de dispersie de 0,2 Ω, se pot racorda echipamente de joasa tensiune ale caror întreruptoare automate au relee maximale reglate la un curent mai mic sau cel mult egal cu:

$$I_{rm} = \frac{50}{1,25 \times 0,2}; \quad I_{rm} = 200 \text{ A}$$

sau ale caror sigurante fuzibile au un curent nominal mai mic sau cel mult egal cu:

$$I_{ns} = \frac{50}{5 \times 0,2}; \quad I_{ns} = 50 \text{ A}$$

3.1.2.6. Folosirea prizelor de pamânt artificiale se admite numai pentru completarea prizelor de pamânt naturale pe baza unor justificari în notele de calcul ale lucrării.

3.1.3. Instalatii de legare la pamânt pentru protectia prin legare la nul din rețeaua de joasa tensiune (schema TN)

3.1.3.1. Reguli generale

Pentru o instalatie electrica de joasa tensiune se va realiza, de regula, protectia prin legare la nul, respectându-se prevederile standardelor 12604/4-89 si 12604/5-90.

În cazul în care la unul sau mai multe sectoare ale rețelei de joasa tensiune se aplica protectia prin legare la nul, se admite legarea la pamânt a unor echipamente numai daca racordarile acestora se fac la o instalatie de legare la pamânt care are legaturi electrice directe cu rețeaua de nul si prezinta o rezistenta de dispersie R_p cel mult egala cu valoarea rezultata din conditia de la pct.3.1.2.1.

Se admite legarea numai la pamânt a echipamentelor de putere mica (echipamente de automatizare, telecomanda, telecomunicatii etc.) atunci când se respecta conditia de la pct.3.1.2.1, fara adaugarea de prize de pamânt suplimentare, precum si primul alineat din acest punct.

În cazul în care se aplica numai legarea la pamânt (considerata ca masura principala împotriva electrocutarilor prin atingere indirecta), instalatia respectiva de protectie se va dimensiona si executa în conformitate cu prevederile STAS 12604/4-89 si 12604/5-90.

În cazul stâlpilor metalici sau de beton armat se admite ca în locul protectiei prin legare la nul sa se aplice legarea la pamânt, completata cu dirijarea distributiei potentialelor, astfel încât U_a si U_{pas} sa nu depaseasca valorile prevazute în subcap.2.3. În aceasta situatie nu se prescrie valoarea rezistentei de dispersie a instalatiei de legare la pamânt respective.

Daca prin dirijarea distributiei potentialelor nu se poate respecta justificat limita de 50 V, pentru U_a se admite completarea cu izolarea amplasamentului, considerându-se în calcule coeficientul respectiv de amplasament α .

În cazul rețelelor electrice cu conductoare izolate torsadate se admite ca pentru protectia împotriva atingerilor indirecte la stâlpul respectiv sa se aplice o izolare de protectie (conform

definiției de la pct.1) a conductoarelor față de stâlp în loc de legare la nul (a se vedea STAS 12604/5-90).

Când se aplică protecția de legare la nul, se vor realiza totdeauna legături suplimentare la pământ în conformitate cu prevederile standardului STAS 12604/5-90.

Conform acestui standard se vor realiza legăturile la pământ la bornele și barele de nul ale tuturor tablourilor de distribuție și pe traseele conductoarelor de nul ale rețelelor aeriene, precum și la echipamentele electrice de la consumatori, respectându-se condițiile de la pct.3.1.1.9 din STAS 12604/5-90.

La o instalație de legare la pământ se pot racorda mai multe sau chiar toate tablourile de distribuție, precum și mai multe sau toate echipamentele electrice; a se vedea STAS 12604/5-90.

Valorile maxime ale rezistențelor de dispersie ale instalațiilor de legare la pământ se vor stabili în conformitate cu pct.3.1.3.2 ... 3.1.3.5 de mai sus, iar dimensionarea și executarea instalațiilor respective de legare la pământ se vor realiza respectându-se condițiile standardului 12604/5-90, pct.3.1.1.10 ... 3.1.1.12.

Corpurile de iluminat, utilajele mobile de pe șantier și instalațiile de ridicat cu cale de rulare, prezentând aspecte particulare, legăturile de protecție ale acestora se vor realiza cu respectarea condițiilor specifice din standardul STAS 12604/5-90. În fig.9 se prezintă modul de legare a corpurilor de iluminat.

Față de prevederile din STAS 12604/4-89 și STAS 12604/5-90 se vor avea în vedere și precizările din prezentul îndreptar privind obiectivele energetice.

3.1.3.2. Centrale, stații și posturi de transformare

În apropierea sursei de alimentare (transformator sau generator) va fi prevăzută o legare la pământ a nulului, folosindu-se o instalație de legare la pământ locală cu o rezistență de dispersie de cel mult 10 Ω, cu respectarea concomitentă a condiției ca rezistența de dispersie rezultantă a sistemului constituit din rețeaua de nul și prizele de pământ legate cu aceasta să fie sub 4Ω.

În cazul mai multor plecări este suficientă o singură instalație de legare la pământ, urmând ca în exploatare să se mențină în permanentă în bună stare legăturile tuturor nulurilor de pe plecările de joasă tensiune la această instalație de legare la pământ.

La centralele, stațiile și posturile de transformare unde partea de joasă tensiune este utilizată numai pentru alimentarea unor consumatori din incinta comună a acestora, se va folosi întotdeauna în comun instalația de legare la pământ (atât pentru partea de înaltă tensiune cât și pentru partea de joasă tensiune).

La această instalație de legare la pământ se vor racorda: punctul neutru al transformatorului, bornele sau barele de nul ale tablourilor și echipamentele, care conform STAS 12604/5-90 trebuie legate și la pământ.

Instalația de legare la pământ folosită în comun pentru partea de î.t și pentru partea de j.t va fi astfel dimensionată, încât să satisfacă condițiile pentru partea de î.t, însă rezistența de dispersie rezultantă va fi în toate cazurile mai mică sau cel mult egală cu 4 Ω, respectiv cu 1 Ω pentru cazul în care la priza de pământ folosită în comun se racordează și instalația de protecție împotriva descărcărilor atmosferice (inclusiv DC sau DRV) de pe partea de î.t.

În cazul centralelor, stațiilor și posturilor de transformare a căror parte de joasă tensiune alimentează și consumatorii din afara incintei acestora, în vederea evitării transmiterii la consumatori (prin intermediul conductoarelor de nul) a unor tensiuni mai mari decât cele din tabelul 2.3 pentru zonele cu circulație frecventă în cazul unui defect pe partea de înaltă tensiune, se vor respecta condițiile din STAS 12604/5-90 (anexa A), și anume:

a) Se va realiza totdeauna o instalație generală de legare la pământ, folosită în comun pentru partea de înaltă tensiune și pentru partea de joasă tensiune, atât în incintele și platformele industriale în care, conform prevederilor STAS 12604/5-90, este necesar să se realizeze o rețea generală de legare la pământ de protecție pentru toate categoriile de instalații și echipamente electrice, cât și în rețelele din afara incintelor și platformelor industriale (posturi de transformare, puncte de alimentare etc.).

b) Instalația generală de legare la pământ trebuie să fie astfel realizată încât să se respecte tensiunile de atingere și de pas maxime admise, atât la partea de înaltă tensiune cât și la carcasa și elementele de susținere ale instalațiilor și echipamentelor electrice de joasă tensiune.

c) Totdeauna când se folosesc în comun instalațiile de legare la pământ trebuie să se aibă în vedere ca tensiunile de atingere și de pas la instalațiile și echipamentele de joasă tensiune legate la conductorul de nul de protecție să nu depășească valorile maxime admise conform STAS 2612-1987, respectiv din tabelul 2.3 din prezentul îndreptar pentru zonele cu circulație frecventă, în caz de defect pe partea de înaltă tensiune, precum și valorile din tabelul 2.2 din prezentul îndreptar, pentru cazul unui defect pe partea de joasă tensiune.

d) În cazul rețelelor de înaltă tensiune legate la pământ printr-o rezistență ohmică, timpul protecției de bază (și anume timpul de întrerupere prin cea mai rapidă protecție prevăzută să acționeze la defectul respectiv) trebuie să fie de cel mult 1,2 s (a se vedea pct.2.2.3 din prezentul îndreptar).

În cazuri speciale, când se justifică tehnic și economic, se admite să se realizeze instalații de legare la pământ separate, și anume, instalația de legare la pământ pentru partea de joasă tensiune să se separe de instalația de legare la pământ, pentru partea de înaltă tensiune; de exemplu, în cazul posturilor și rețelelor aeriene de înaltă tensiune (pe stâlpi LEA), la care realizarea unei instalații comune - astfel încât să se respecte limitele maxime admise ale tensiunilor de atingere și de pas - ar conduce la investiții mai mari, nejustificate.

În cadrul aceleiași rețele de înaltă tensiune, se admite ca, pentru o parte a rețelei să se realizeze instalații de legare la pământ comune, iar pentru alta parte, instalații de legare la pământ separate.

e) În cazul în care se realizează instalații de legare la pământ separate pentru partea de înaltă tensiune, și pentru partea de joasă tensiune, trebuie îndeplinite următoarele condiții (în conformitate cu STAS 12604/5-90 Anexa A):

- distanța dintre cele două instalații de legare la pământ trebuie să fie aleasă astfel încât, în orice situație să nu rezulte în rețeaua conductoarelor de nul de protecție o tensiune de atingere și de pas mai mare decât valorile maxime admise. În toate cazurile, distanța dintre instalațiile de legare la pământ trebuie să nu fie mai mică de 20 m, pe această distanță trebuie să nu existe elemente conductoare cum sunt cabluri, conducte metalice etc, care să facă ineficientă distanțarea. În cazuri speciale, impuse de condiții specifice, se admite reducerea distanței de separare pe baza unei justificări privind respectarea tensiunilor de atingere și de pas maxim admise;

- distanța dintre obiectele metalice situate deasupra solului și aflate în contact cu instalațiile de legare la pământ separate (conductoare principale sau de ramnificație, carcase, îngrădiri etc.), trebuie să fie de cel puțin 0,1 m; dacă nu se poate respecta distanța de 0,1 m trebuie să se ia măsuri de izolare;

- dacă linia aeriană de joasă tensiune se racordează prin cabluri la barele colectoare ale stației sau postului de transformare respectiv, trebuie avut în vedere ca armatura metalică a cablului să nu facă ineficientă separarea intenționată a instalațiilor de legare la pământ; legarea la pământ a punctului neutru nu se face în stație, respectiv la postul de transformare, ci la primul stâlp al liniei aeriene;

- dacă obiectele metalice de pe partea de joasă tensiune care trebuie protejate nu se pot separa de instalația de legare la pământ de protecție de pe partea de înaltă tensiune, ele se leagă la această instalație (de exemplu, cutia de distribuție de joasă tensiune montată pe stâlpul cu transformator); în aceste cazuri trebuie să se asigure atât la stâlpul cu transformator cât și la stâlpul la care se leagă nulul de la priza de pământ de exploatare, tensiuni de atingere și de pas sub limitele admise, eventual prin dirijarea distribuției potențialelor și/sau izolarea amplasamentului;

- dacă unele obiecte metalice care trebuie protejate se pot separa, iar altele nu, primele se leagă la conductorul de nul, iar celelalte se leagă la instalația de protecție de pe partea de înaltă tensiune; în acest caz este necesar să se ia măsuri ca cele două categorii de obiecte metalice să fie separate între ele, conform prevederilor de la subpunctul "b".

f) În toate cazurile în care se folosește în comun o instalație de legare la pământ, atât pentru partea de înaltă tensiune, cât și pentru partea de joasă tensiune, rezistența de dispersie (R_{pn}) a instalației comune se determină pentru cazul defectelor pe partea de înaltă tensiune, cu următoarea

relație:
$$R_{pn} \leq \frac{U_a}{I_p r_e r_k}$$

în care:

U_a este valoarea maximă admisă a tensiunii de atingere și de pas conform STAS 2612-1987, respectiv tabelul 2.3 din prezentul îndreptar, (în volți);

I_p - intensitatea curentului de punere la pământ prin priza de pământ respectivă, stabilită conform STAS 12604/4-89 și îndreptarul 1.RE-I_p 35/2-92 privind rețelele de medie tensiune cu

neutrul tratat prin rezistența (schema T₂T pentru cazul în care defectul este pe partea de înaltă tensiune (în A); a se vedea și STAS 12604/4-89 (cap.8 și Anexa 1);

r_k - factorul de așteptare care are următoarele valori:

$r_k = 0,85$ în cazul rețelelor de joasă tensiune cu cabluri subterane;

$r_k = 1,00$ în cazul rețelelor de joasă tensiune pe stâlpi LEA;

r_e - coeficientul de echipotentiere, în zonele de influență ale prizelor de pământ legate la rețeaua conductorului de nul de pe partea de joasă tensiune.

Coeficientul de echipotentiere se determină prin măsurări pentru fiecare caz în parte. În cazul când nu se dispune de astfel de determinări, se vor considera următoarele valori:

$r_e = 0,8$, dacă rețeaua conductoarelor de nul de pe partea de joasă tensiune este buclată;

$r_e = 1,0$, dacă rețeaua conductoarelor de nul de pe partea de joasă tensiune este ramificată.

Indiferent de rezultatul calculului, valoarea rezistenței de dispersie rezultante a instalației (rețelei) generale de legare la pământ trebuie să fie de cel mult 4 Ω .

Pentru verificarea la stabilitate termică se consideră, de asemenea, cazul defectelor pe partea de înaltă tensiune, respectându-se prevederile din STAS 12604/4-89 cap.7.

3.1.3.3. Instalații la consumatori

La consumatori, echipamentele electrice care trebuie legate suplimentar la pământ, conform standardului STAS 12604/5-90 pct.3.1.1.13, se vor racorda, de regulă, la aceeași instalație de legare la pământ la care se racordează și barele și bornele de nul ale tablourilor de distribuție.

Se admit racordări la instalații de legare la pământ separate, numai dacă legăturile la instalația comună ar conduce la costuri mai mari.

Dacă în incinta unității respective există și instalații electrice de înaltă tensiune se va folosi în comun instalația de legare la pământ. Aceasta se va dimensiona și executa și în conformitate cu condițiile impuse pentru partea de înaltă tensiune; conductoarele de ramificație de pe partea de joasă tensiune vor corespunde condițiilor din STAS 12604/5-90 art.3.2.2.

Indiferent de valoarea rezultată din calcule pentru dimensionarea instalației comune de legare la pământ, rezistența de dispersie a acesteia nu va depăși valoarea de 4 Ω iar tensiunile de atingere și de pas nu vor depăși valorile din STAS 2612-1987, respectiv din tabelul 2.3 din prezentul îndreptar pentru zonele cu circulație frecventă în cazul unui defect pe partea de înaltă tensiune, considerându-se totdeauna $k_a = k_{pas} = 1$ (a se vedea și pct.4.1.4 din prezentul îndreptar).

Dacă o instalație de legare la pământ deservește numai partea de joasă tensiune, ea va fi dimensionată și executată respectându-se prevederile din STAS 12604/5-90 pentru conductoarele de legare la pământ, pentru executarea legăturilor și pentru prizele de pământ (STAS 12604/5 art. 3.2.2).

Dacă legarea la nulul de protecție se realizează cu conductoare neizolate montate aparent, rețeaua conductoarelor principale de protecție este folosită în comun și pentru legarea la pământ, atât pentru echipamentele electrice de î.t. cât și pentru echipamentele electrice de j.t.

Sistemul de protecție prin legarea la nul cu conductoare neizolate montate aparent se va dimensiona conform prescripțiilor generale cu precizările de mai jos specifice realizării legării la nul cu conductoare neizolate aparente. A se vedea prevederile din standardul STAS 12604/5-90 privind protecția prin legare la nul cu conductoare neizolate (montate aparent).

În cazul în care legarea la nulul de protecție se realizează cu conductoare PE neizolate (montate aparent), rețeaua acestora este separată de rețeaua conductoarelor de nul de lucru N și este folosită atât pentru legarea la nul cât și pentru legarea la pământ.

Rețeaua conductoarelor de nul PE cu conductoare neizolate montate aparent poate fi folosită în comun și drept rețea de legare la pământ și pentru instalațiile de înaltă tensiune dacă este dimensionată corespunzător, conform prevederilor din prezentul îndreptar.

În cazul rețelei de nul de protecție cu conductoare neizolate, se pot folosi cabluri (conduțe) fără conductor de nul de protecție PE. Dacă cablurile (conduțele) sunt fără conductoare de nul N sau PEN, receptoarele monofazate se vor alimenta din transformatoarele special racordate la rețeaua de j.t. trifazată; este interzisă racordarea pentru alimentare cu energie electrică folosind conductoarele de protecție PE drept conductoare active.

În cazul în care pentru alimentarea receptoarelor monofazate se folosesc transformatoare speciale destinate acestui scop alimentate din rețeaua trifazată de joasă tensiune pentru

receptoarele monofazate se va aplica, de regula, protectia, prin legarea la nul schema TN (fac exceptie transformatoarele de separare).

La stabilirea solutiei de realizare a retelei de nul de protectie neizolate (aparente) trebuie sa existe la baza o justificare tehnico-economica în functie de conditiile specifice, si anume: costul transformatoarelor pentru echipamentele monofazate, economiile realizate prin folosirea cablurilor fara conductoare de nul, realizarea retelei conductoarelor de nul de protectie PE numai cu conductoare neizolate (montate aparent), determinate de puterile electrice ale echipamentelor electrice, respectiv sectiunile conductoarelor active în raport cu care se determina sectiunile conductoarelor de nul de protectie PE etc.

Sectiunea conductoarelor PE dintre sursele de alimentare (transformator sau generator) si elementul care trebuie racordat la conductorul de protectie (carcasa, element de sustinere) si care poate intra accidental sub tensiune, trebuie sa fie astfel stabilita încât sa se asigure conditia de întrerupere a circuitului defect, conform STAS 12604/4-89 pct. 6.2.2, astfel:

$$I_{def} \geq K \cdot I_{ns} \text{ sau } I_{def} \geq 1,25 I_r$$

unde: I_{def} este curentul de defect;

I_{ns} - curentul nominal al sigurantei fuzibile;

I_r - curentul de reglaj al dispozitivului de protectie pentru decontarea la scurtcircuit a întreruptorului echipamentului electric protejat;

K - coeficient care se stabileste în functie de tipul sigurantei fuzibile, corespunzator unui timp de deconectare de 3 s; pentru cazul în care furnizorul sigurantei nu indica valoarea K , pentru $t = 3s$, se adopta valorile indicate în STAS 12604/4-89 pct. 6.2.2.

Indiferent de rezultatul calculului, sectiunea conductorului de protectie nu trebuie sa fie mai mare decât valoarea din tabelul 3.1 de mai jos în functie de materialul conductorului si destinatia acestuia si nu va fi mai mica decât sectiunea minima indicata mai jos în tabelul 3.2.

Tabelul 3.1

Sectiunea maxima pentru conductoarele de nul de protectie PE neizolate (montate aparent)

Destinatia Conductorului	Sectiunea maxima în mm ²			
	otel rotund sau profiluri din otel cu $g \geq 3$ mm	cablu din otel	otel - aluminiu sau aliaje din aluminiu cupru	
1	2	3	4	5
Conductor de protectie principal	400	400	240	185
Conductor de protectie de ramificatie	2 × 240	2 × 240	2 × 185	2 × 150

Sectiunea minima din punct de vedere electric a conductorului de protectie principal trebuie sa fie 1/3 din sectiunea echivalenta a conductoarelor de faza folosite în schema TN respectiva, iar a conductorului de ramificatie trebuie sa fie 1/2 din sectiunea echivalenta a conductorului de faza prin care se alimenteaza echipamentul respectiv, dau nu mai mica decât sectiunea minima din punct de vedere al rezistentei la sollicitari mecanice.

Sectiunea minima din punct de vedere al sollicitarilor mecanice este cea din tabelul 3.2 de mai jos, în functie de materialul conductorului si destinatia acestuia.

Sectiunea minima admisa din punct de vedere al solicitarilor mecanice conductoarele de nul de protectie "PE" neizolate (montate aparent)

Destinatia conductorului de nul PE	Sectiunea minima admisa, în mm ²			
	otel rotund sau profiluri din otel cu grosimea minima de 3 mm	cablu din otel	otel aluminiu sau aliaje din aluminiu	cupru
Conductor de protectie principal	100	95	35	16
Conductor de protectie de ramificatie	50	50	25	10

Conductorul de protectie principal PE neizolat (montat aparent) va constitui, de regula, un circuit închis:

Conductorul de nul de protectie principal PE se va monta în toate încaperile si spatiile în care exista echipamente care trebuie racordate la nulul de protectie. Conductorul de nul de protectie PE se va monta pe pereti, în canale sau pe rastelele de cabluri, astfel încât lungimile acestui conductor sa fie cât mai mici, respectiv impedantele sa fie cât mai mici iar echipamentele sa poata fi racordate prin conductoare de protectie de ramificatie cât mai scurte.

În cazul conductoarelor de nul din aluminiu sau aliaje din aluminiu montate îngropat în pamânt sau pardoseala, acestea trebuie protejate pe toata lungimea de îngropare în tuburi metalice împotriva solicitarilor mecanice.

Conductorul de nul de protectie principal PE va avea rolul si de conductor principal de legare la pamânt. În acest scop conductorul PE principal se va lega la prizele de pamânt care deservesc circuitele de nul.

Bornele si barele de nul ale tablourilor de distributie se vor racorda la conductorul de nul de protectie principal printr-un conductor de protectie PE de ramificatie diferit de conductorul PE de ramificatie pentru racordarea carcaselor sau elementelor de sustinere ale tablourilor respective.

Carcasele si elementele de sustinere care trebuie racordate la conductoarele de nul se vor lega la conductorul de protectie PE principal printr-o singura legatura electrica. Nu mai este necesara o legatura suplimentara sau un mijloc de protectie suplimentar, daca este prevazuta o protectie pentru declansare în caz de defect într-un timp mai mic sau cel mult egal cu 3 s.

Conductoarele de legare la priza de pamânt a conductoarelor de nul de protectie PE principale se vor dimensiona avându-se în vedere folosirea acestor conductoare (montate aparent) si drept conductoare de legare la pamânt principale.

Conductoarele PE din aluminiu (Al) sau otel-aluminiu (O-Al) neizolate (montate aparent) vor avea distantele maxime pe orizontala între doua puncte succesive de rezemare de 0,5 m la Al si 0,8 m la O-Al.

La trecerea conductoarelor PE neizolate din aluminiu sau otel-aluminiu prin plansee (la montarea în interior) sau la trecerea din pamânt în aer (la montarea în exterior), conductoarele vor fi protejate în tuburi metalice pe o înaltime de 0,5 m în interior si 1 m în exterior pentru protectia împotriva solicitarilor mecanice.

În cazul în care se prevad descarcatoare de protectie împotriva supratensiunilor temporare (de scurta durata de ordinul microsecundelor) în instalatiile de j.t ale consumatorului, acesta trebuie sa se conecteze între conductoarele circuitelor protejate (de faza si de nul de lucru) si bara de echipotentiere prevazuta în acest scop. Aceasta din urma trebuie sa se lege la priza de pamânt care deserveste instalatia de j.t, prin conductoare de ramificatie separate. Pentru aceasta functie a prizei de pamânt nu sunt conditii restrictive privind rezistenta de dispersie a acesteia. Precizarea de mai sus este valabila si pentru instalatiile furnizorului.

3.1.3.4. Linii electrice aeriene

La liniile electrice aeriene de distributie urbane si rurale pentru legarea conductorului de nul la pamânt, se vor prevedea prize de pamânt la capetele liniei principale si ale liniilor ce se ramifica din acestea, precum si pe linii, în locuri alese în asa fel încât distanta între doua prize pe orice traseu (linie plus ramificatie) sa nu fie mai mare de 1000 m; instalatiile de legare la pamânt trebuie astfel dimensionate încât rezistenta de dispersie R_p masurata în orice punct al retelei de nul sa nu depaseasca valoarea de 4 Ω .

Se admite depasirea acestei valori cu conditia asigurarii unei tensiuni de atingere si de pas sub valoarea de 50 V, pentru timpul de deconectare de cel mult 3 s, respectiv mai mari de 50 V, daca timpul de deconectare este de cel mult 0,2 s; cazul prevederii protectiei diferentiale cu DDR. Pentru prizele de pamânt locale rezistenta de dispersie R_{pl} se determina în functie de I_n . A se vedea paragraful 3.1.4.

În cazul stâlpilor, aceste tensiuni limita maxime admise se pot asigura cu ajutorul prizelor de dirijare a distributiei potentialelor sau prin izolarea amplasamentului.

În cazul folosirii în comun a stâlpilor pentru LEA de înalta tensiune si de joasa tensiune, când în retea de joasa tensiune se aplica protectia prin legare la nul, se respecta prevederile din STAS 12604/5-90, anexa B.

În cazul liniilor aeriene, rezistenta oricarei prize de pamânt artificiale prevazute, inclusiv a celor de la capetele liniilor si ale ramificatiilor, trebuie sa fie de cel mult 10 Ω , cu conditia ca rezistenta de dispersie echivalenta a sistemului constituit din conductoarele de nul si aceste prize de pamânt sa fie de cel mult 4 Ω .

În cazul solurilor cu rezistivitate mare (peste 200 Ωm) rezistenta oricarei prize de pamânt artificiale prevazute, inclusiv a celor de la capetele liniilor si ramificatiilor, va fi de cel mult 20 Ω , cu conditia ca rezistenta de dispersie echivalenta a sistemului constituit din conductoarele de nul si prizele de pamânt legate la acestea sa fie mai mica de 4 Ω .

La stâlpii LEA metalici sau din beton armat, conductorul de nul se leaga la armatura metalica a fiecarui stâlp, atât pentru protectia împotriva atingerilor indirecte la stâlpul respectiv, cât si pentru folosirea prizei de pamânt naturale a stâlpului. În cazul conductoarelor izolate, de exemplu a celor torsadate, se admite izolarea suplimentara de protectie, în loc de legarea la nul a stâlpului.

Pentru legarea la nul, stâlpii metalici sau din beton armat trebuie sa fie dotati din fabricatie cu piese de legare la instalatia de protectie.

În cazul în care, cu ajutorul prizelor de pamânt naturale ale stâlpilor se poate obtine o rezistenta de dispersie echivalenta a sistemului constituit din conductoarele de nul si prizele naturale ale stâlpilor egala cu cel mult 4 Ω , se renunta la prizele de pamânt artificiale pe linia aeriana (atât pe cele de pe traseu, cât si la cele de la capete).

În conformitate cu STAS 12604/5-90, în cazul unor sectiuni ale conductorului de faza pâna la 50 mm² inclusiv, de regula, conductorul de nul va avea o sectiune cel puțin egala cu cea a conductorului de faza, cu exceptiile din prezentul îndreptar.

La sectiunile conductorului de faza peste 50 mm², conductorul de nul va avea cel puțin sectiunile indicate mai jos, în functie de sectiunea conductorului de faza:

Sectiunea conductorului de faza, în mm ²	70	95	120	150	185
Sectiunea conductorului de nul, în mm ²	50	50	70	70	95

În cazul unui conductor de nul comun pentru mai multe circuite racordate la aceeași sursa de alimentare (bara sau tabloul), de exemplu, circuitul casnic plus cel public, sectiunea minima a conductorului de nul va fi corespunzatoare sumei sectiunilor conductoarelor unei faze ale acelor circuite, dar nu mai mare decât sectiunile fazei din circuitul cu puterea cea mai mare.

La liniile aeriene, pentru asigurarea unei rezistente mecanice corespunzatoare, sectiunea minima a conductorului de nul va fi de 6 mm² pentru conductoarele din Cu si de 16 mm² pentru conductoarele din aluminiu sau otel-aluminiu.

În cazul stâlpilor de lemn la care se prevad prize pentru legarea la pamânt a conductorului de nul, legaturile acestuia la prize se vor realiza cu ajutorul unui conductor (principal) de legare la pamânt, conform prevederilor STAS 12604/5-90.

Pentru stâlpii de beton armat este necesara prevederea legarii galvanice a barelor longitudinale (aflate pe toata lungimea stâlpului), atât la partea superioara, cât si la partea inferioara, prin câte un inel sudat (etrier).

Conductorul de nul si prizele de pamânt artificiale se vor lega la armaturile stâlpilor, cu exceptia armaturilor pretensionate (ale stâlpilor pretensionati). În acest ultim caz, stâlpul va avea suplimentar, o bara netensionata destinata special pentru efectuarea legaturilor la pamânt si la nul.

În conformitate cu STAS 12604/5-90 se vor lega la conductorul de nul toate elementele metalice ale stâlpilor ce pot intra accidental sub tensiune:

- armaturile metalice ale stâlpilor;
- consolele metalice;
- bratarile de fixare pe stâlpi;
- armaturile corpurilor de iluminat public;
- ancorele etc.

Aceste elemente se vor putea lega la nul printr-o bara de protectie comuna din otel sau otel-aluminiu cu sectiunea minima de 35 mm² fixata pe stâlp. Legarea la aceasta bara a elementelor mai sus mentionate, precum si legarea barei de pe stâlp la nulul LEA, se vor putea face cu conductoare din otel - aluminiu sau din aluminiu cu sectiunea minima de:

- 35 mm² pentru bara comuna;
- 25 mm² pentru conductoarele de ramificatie.

Pentru armaturile corpului de iluminat public se admite ca legarea la conductorul de nul sa se realizeze printr-un conductor special destinat acestui scop, care sa le însoteasca pe cele de alimentare ale lampilor, având aceeasi sectiune.

În cazul retelelor electrice de joasa tensiune cu conductoare izolate torsadate, în cazul stâlpilor de sustinere, se admite sa se aplice izolarea suplimentara de protectie constituita din corpul de material plastic izolat al armaturii de sustinere a fasciculului de conductoare torsadate. Astfel nu se mai impune legarea la nul a elementelor metalice ale stâlpului, cu exceptia corpurilor de iluminat ale caror armaturi se vor lega la nul în modul aratat mai sus.

La stâlpii terminali, de întindere si de derivatie se vor lega întotdeauna la conductorul de nul toate elementele metalice ce pot intra accidental sub tensiune: armaturile metalice, bratarile de prindere, armaturile corpurilor de iluminat, ancorele etc, în modul aratat mai sus.

Si în acest caz se admite ca armaturile corpurilor de iluminat public (atunci când acestea sunt montate la o distanta mare fata de bornele sau bara de legare la nul a stâlpului) sa fie legate la nul printr-un conductor special destinat acestui scop, de aceeasi sectiune cu cele de alimentare a lampilor.

Executia, verificarea si receptionarea prizelor de pamânt artificiale se vor face în conformitate cu STAS 12604/5-90.

În cazul stâlpilor metalici sau de beton armat se admite ca în locul protectiei prin legare la nul sa se aplice legarea la pamânt completata cu dirijarea distributiei potentialelor, astfel încât tensiunea de atingere si tensiunea de pas sa nu depaseasca 50 V; în aceasta situatie nu se prescrie valoarea rezistentei de dispersie a instalatiei de legare la pamânt respective. Daca prin dirijarea distributiei potentialelor nu se poate respecta, justificat, limita de 50 V, se admite completarea cu izolarea amplasamentului.

În conformitate cu STAS 12604/5-90 conductoarele principale de legare la pamânt si cele de ramificatie de pe stâlpi vor avea sectiunile si grosimile minime de mai jos:

	Otel rotund sau profiluri		Funie din otel	Conductor din cupru	Aluminiu sau otel-aluminiu ^{*)}
	Sectiunea minima mm ²	Grosimea minima mm ²	Sectiunea minima mm ²	Sectiunea minima mm ²	Sectiunea minima mm ²
Conductorul principal	100	4	95	25	35
Conductorul de ramificatie	50	3	50	16	25

*) În cazul montajului îngropat, sectiunile sunt 70 mm², respectiv 50 mm²; la îngroparea în pamânt, conductoarele de Al sau OI-Al trebuie protejate în tevi de protectie.

Se admit legaturi de ramificatie din conductoare funie din aluminiu sau otel - aluminiu cu sectiunea minima de 16 mm² pentru legarea la nul sau la pamânt numai daca se afla în afara zonelor cu solicitari mecanice (de exemplu daca se afla la o înaltime mai mare de 2 m fata de suprafata solului).

3.1.3.5. Folosirea în comun a stâlpilor pentru LEA de medie tensiune și de joasă tensiune

Protecția împotriva tensiunilor de atingere și de pas la folosirea în comun a stâlpilor pentru LEA de medie și joasă tensiune, avându-se în vedere pericolele de apariție în rețeaua de joasă tensiune (stâlpi, tablouri de distribuție, întreruptoare, prize, receptoare etc.) a unor tensiuni de defect care ar putea duce la străpungeri de izolații și electrocutări, se va realiza astfel:

- LEA de medie tensiune care au porțiuni pe stâlpi comuni cu LEA de joasă tensiune vor fi în întregime (inclusiv în porțiunile necomune) echipate cu izolatoare nestrapungibile, iar numai pe porțiunea cu stâlpi comuni linia va fi de construcție mecanic întărită, conform prevederilor Normativului PE 104-1994, cap.11, tabelul 11.5;

- se va prevedea deconectarea automată la puneri simple la pământ; în cazul rețelelor de medie tensiune izolate față de pământ în care nu se vor putea asigura condițiile de selectivitate pentru deconectarea la puneri simple la pământ, se va organiza prin măsuri de exploatare adecvate deconectarea manuală într-un timp cât mai scurt posibil (timpul maxim admisibil în cazuri excepționale justificate este de 30 minute), a liniei la care apar defecte cu punere simplă la pământ;

- lucrările la rețeaua de joasă tensiune se vor efectua după întreruperea prealabilă a rețelei de medie tensiune în porțiunile cu stâlpii folosiți în comun; se admite lucrul la rețeaua de joasă tensiune cu rețeaua de medie tensiune, sub tensiune, numai cu scoaterea de sub tensiune a zonei de lucru a rețelei de joasă tensiune și încadrarea ei cu scurtcircuitoare și numai pentru lucrările și în condițiile prevăzute de Normele Specifice de Securitate a Muncii; NP 65-2002;

- în toate cazurile în care rețeaua de joasă tensiune se deconectează de la post și are receptoare la consumatori conectați la rețeaua de joasă tensiune, rețeaua de joasă tensiune va fi scurtcircuitată și legată la pământ;

- în funcție de modul de izolare a rețelei de joasă tensiune și de protecția folosită împotriva electrocutărilor prin atingere indirectă în rețeaua de joasă tensiune, se va alege una din variantele de realizare a rețelei de joasă tensiune, inclusiv stâlpii folosiți în comun, menționate mai jos. În toate cazurile se va justifica în documentația lucrării varianta aleasă.

Se disting următoarele 3 variante care pot apărea în practică:

Varianta 1, în care conductorul de nul al rețelei de joasă tensiune este folosit și drept conductor de nul de protecție, atât la consumatori cât și la stâlpi.

Într-un astfel de caz conductorul de nul se leagă la priza de pământ a fiecărui stâlp. O astfel de situație este foarte favorabilă, deoarece condiția principală este:

$$R_{pn} \leq \frac{U_a}{I_p}$$

unde:

R_{pn} este rezistența de dispersie rezultantă a întregului sistem, constituit din conductorul de nul și toate prizele legate la aceasta (de protecție și de exploatare), în Ω ; în acest caz coeficientul de atingere și de pas se consideră $k_a = k_{pas} = 1$;

I_p - curentul maxim de punere la pământ în rețeaua de înaltă tensiune, în A; dacă se prevede un conductor de compensare $I_p = r_c \cdot I_{def}$; în cazul în care nu se dispune de valori determinate $r_c = 0,8$;

U_a - tensiunea maximă admisă conform STAS 2612-1987 și tabelul 2.3 din prezentul îndreptar pentru instalațiile electrice din zone cu circulație frecventă, în funcție de timpul de declansare în cazul unei puneri la pământ pe partea de înaltă tensiune și de categoria rețelei de înaltă tensiune, în V;

I_{def} - curentul de defect determinat în conformitate cu STAS 12604/4-89.

În cazul în care, cu ajutorul prizelor de pământ naturale ale stâlpilor și al prizelor de pământ din rețeaua de joasă tensiune (de exploatare și de protecție la consumatori), se realizează rezistența cerută, nu mai este necesar să se adauge prize artificiale la stâlpi.

Varianta 2, în care conductorul de nul al rețelei este folosit drept conductor de nul de protecție însă numai la consumatori și, eventual și la o parte din stâlpii LEA. La stâlpii la care conductorul de nul este izolat față de armatura acestora, iar pentru protecția împotriva electrocutărilor prin atingere indirectă la stâlpii respectivi se folosește protecția prin legare la pământ, combinată cu dirijarea

distributiei potentialelor si, eventual, cu izolarea amplasamentului, conditiile principale sunt (concomitent) urmatoarele:

$$a) R_{pn} \leq \frac{U_a}{I_p}$$

conform celor aratate la varianta 1 de mai sus, cu diferenta ca la rezistenta de dispersie R_{pn} nu mai contribuie prizele de pamânt de la stâlpi (se are în vedere caderea unui conductor de înalta tensiune pe un conductor al retelei de joasa tensiune);

$$b) R_{ps} \leq \frac{U_a}{I_p} \cdot \frac{\alpha + \beta - 1}{k_a}$$

si

$$R_{ps} \leq \frac{U_{pas}}{I_p} \cdot \frac{\alpha_{pas}}{k_{pas}}$$

unde:

I_p este curentul de punere la pamânt maxim prin priza la un defect pe partea de î.t.; conditia este cea impusa prizelor de pamânt de la stâlpii LEA din localitati;
- se are în vedere un defect la stâlp pe partea de înalta tensiune;

U_a si U_{pas} - tensiunile de atingere si pas, conform STAS 2612-1987 si tabelul 2.3 pentru stâlpii liniilor electrice aeriene;

$$c) R_{ps} \leq \frac{50}{I_{pjt}} \cdot \frac{\alpha_a}{k_a}$$

unde:

I_{pjt} este curentul maxim în reseaua de joasa tensiune nedeconectabil prin protectie; aceasta conditie poate fi înlocuita cu o conditie mai simpla, si anume:

$$\frac{k_a}{\alpha_a} \text{ si } \frac{k_{pas}}{\alpha_{pas}} \leq 0,25$$

Rezulta ca în cazul în care se prevede la stâlp o priza de dirijare la care $k_a = k_{pas} = 0,25$ si care îndeplineste conditia:

$$R_{ps} \leq \frac{U_a}{0,25I_p},$$

se satisfac concomitent si conditiile "b" si "c" de mai sus.

Varianta 3, în care conductorul de nul este izolat fata de armatura stâlpului si nu este folosit drept conductor de nul de protectie.

La stâlpi se realizeaza o protectie prin legare la pamânt combinata cu dirijarea distributiei potentialelor si, eventual, si cu izolarea amplasamentului.

În acest caz conditiile principale sunt concomitent urmatoarele:

$$a) R_{pn} \leq \frac{900}{I_p}$$

unde:

I_p este curentul maxim de punere la pamânt la un defect pe partea de înalta tensiune, si anume, ruperea si caderea unui conductor al retelei de înalta tensiune peste un conductor al retelei de joasa tensiune; se are în vedere o protectie împotriva strapungerii echipamentelor racordate în reseaua de joasa tensiune pâna la declansarea liniei de înalta tensiune ($0,6 \times 1500 = 900$ V);

$$b) R_{ps} \leq \frac{U_a}{I_p} \cdot \frac{\alpha_a + \beta - 1}{k_a}$$

si

$$R_{ps} \leq \frac{U_{pas}}{I_p} \cdot \frac{\alpha_{pas}}{k_{pas}}$$

$$c) R_{ps} \leq \frac{50}{I_{pjt}} \cdot \frac{\alpha_a}{k_a}$$

sau

$$\frac{k_a}{\alpha + \beta - 1} \text{ si } \frac{k_{pas}}{\alpha} \leq 0,25$$

Pentru punctele "b" si "c" sunt valabile cele mentionate mai sus la varianta 2, conditiile fiind identice.

I_p este curentul maxim de punere la pamânt în rețeaua de înalta tensiune si poate fi:

$I_p = I_m$ în cazul rețelilor izolate fata de pamânt (simbol I) când se prevede o protectie cu semnalizare împotriva punerilor la pamânt simple si o protectie cu deconectare automata împotriva punerilor la pamânt duble, I_m fiind curentul maxim de punere la pamânt dubla al LEA, nedeconectabil prin aceasta protectie;

$I_p = I_{ps}$ în cazul rețelilor izolate fata de pamânt (simbol I) când se prevede în fiecare circuit o protectie cu deconectare automata, selectiva care sa actioneze în cazul unei puneri la pamânt simple, pe circuitul respectiv, I_{ps} fiind curentul de punere la pamânt simpla, însa nu mai puțin de 10 A;

$I_p = I_{pm}$ în cazul rețelilor legate la pamânt printr-o rezistenta ohmica, I_{pm} fiind curentul de punere la pamânt monofazata în rețeaua respectiva (curentul care se închide efectiv prin priza de pamânt).

3.1.3.6. Corpuri de iluminat

Corpurile de iluminat care conform STAS 12604/5-90 trebuie racordate la instalatia de protectie prin legare la nul, vor avea borne de protectie.

Legarea la instalatia de protectie se va face numai printr-un singur conductor (separat de conductorul de nul de lucru) care poate fi din aluminiu, când alimentarea se face în cablu sau linie aeriana, si va fi din cupru în cazul folosirii conductoarelor izolate în tuburi. Conductorul de protectie se va lega fie la nul, fie la instalatia de legare la pamânt. La corpurile de iluminat, în nici o situatie nu se impune vreo masura suplimentara de protectie fata de simpla legare, fie la nul, fie la instalatia de legare la pamânt în modul aratat mai sus (fig.2).

3.1.3.7. Instalatii electrocasnice

În locuinte, legarea la nulul de protectie se va realiza prin legarea aparatului la un conductor de nul de protectie care este diferit de conductorul de nul de lucru pâna la borna de legare la pamânt a cladirii.

În cazul rețelilor aeriene de distributie nu este obligatorie racordarea bornelor de nul ale tablourilor la o instalatie de legare la pamânt daca între tabloul de distributie si conductorul de nul al LEA se prevad doua conductoare de nul, ambele montate izolat (a se vedea STAS 12604/5-90).

La stâlplul respectiv de bransament, în toate cazurile, armatura metalica a acestuia se va lega la conductorul de nul. De asemenea, se recomanda ca la dispunerea prizelor de pamânt pe rețea sa se aiba în vedere ca acestea sa fie prevazute pe cât posibil la stâlpii cu bransamente.

În acest caz, bransamentele monofazate la consumatorii casnici, se vor realiza cu trei conductoare (unul de faza si doua de nul). Cele doua conductoare de nul se vor racorda la nulul rețelei prin doua legaturi diferite.

La tabloul de distributie racordarea se va face, de asemenea, la doua borne de nul diferite (care pot fi însa montate pe aceeasi bara metalica).

În cazul în care, între LEA si tabloul de distributie sau firida de bransament se prevad conductoare izolate (de exemplu cele torsadate), se va putea prevedea un singur conductor de nul, comun pentru lucru si protectie, cu respectarea simultana a urmatoarelor conditii:

a) conductorul de nul are o sectiune cu o treapta mai mare decât sectiunea conductorului de faza; se admite ca sectiunile sa fie egale numai în cazul conductoarelor concentrice izolate;

b) conductorul de nul al bransamentului este racordat la conductorul de nul al LEA prin doua legaturi distincte, doua cleme, respectiv la o singura clema de prindere asigurate prin doua puncte (suruburi) de fixare, iar tabloul de distributie (firida de bransament) la doua borne (cleme) distincte;

c) conductorul de nul este fixat astfel încât legatura la clema (borna) sa nu fie solicitata mecanic, atât la cleme cât si la firida de bransament;

d) armatura stâlpului la care se executa bransamentul (armatura care constituie o priza de pamânt naturala) este legata la conductorul de nul al retelei; aceasta masura nu este obligatorie la LEA cu conductoare torsadate;

e) continuitatea conductorului de nul si legaturile duble la borne (cleme) atât la firida de bransament cât si la clemele de legatura cu LEA, este verificata periodic, în conformitate cu reglementarile în vigoare.

DIMENSIUNILE ZONEI DE MANIPULARE

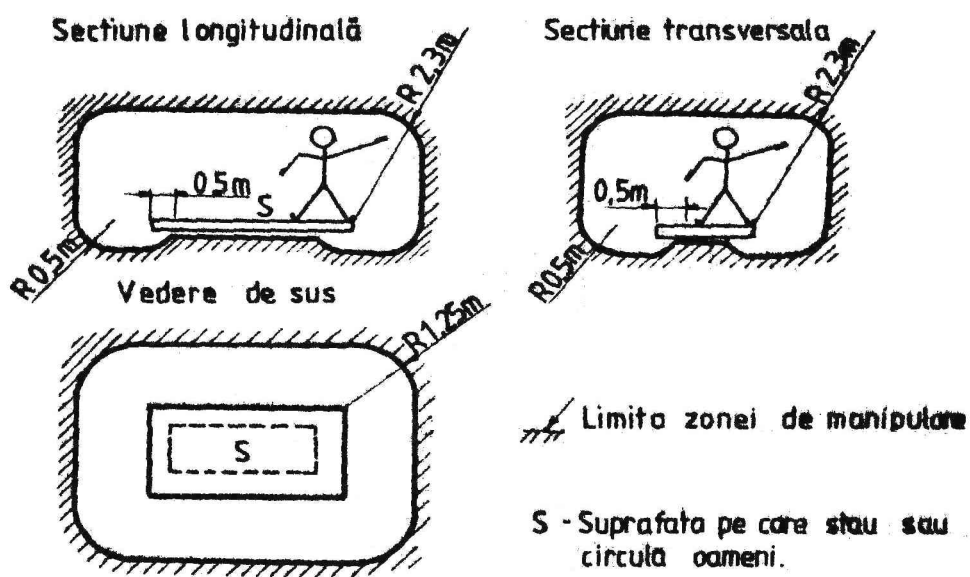


Figura 1

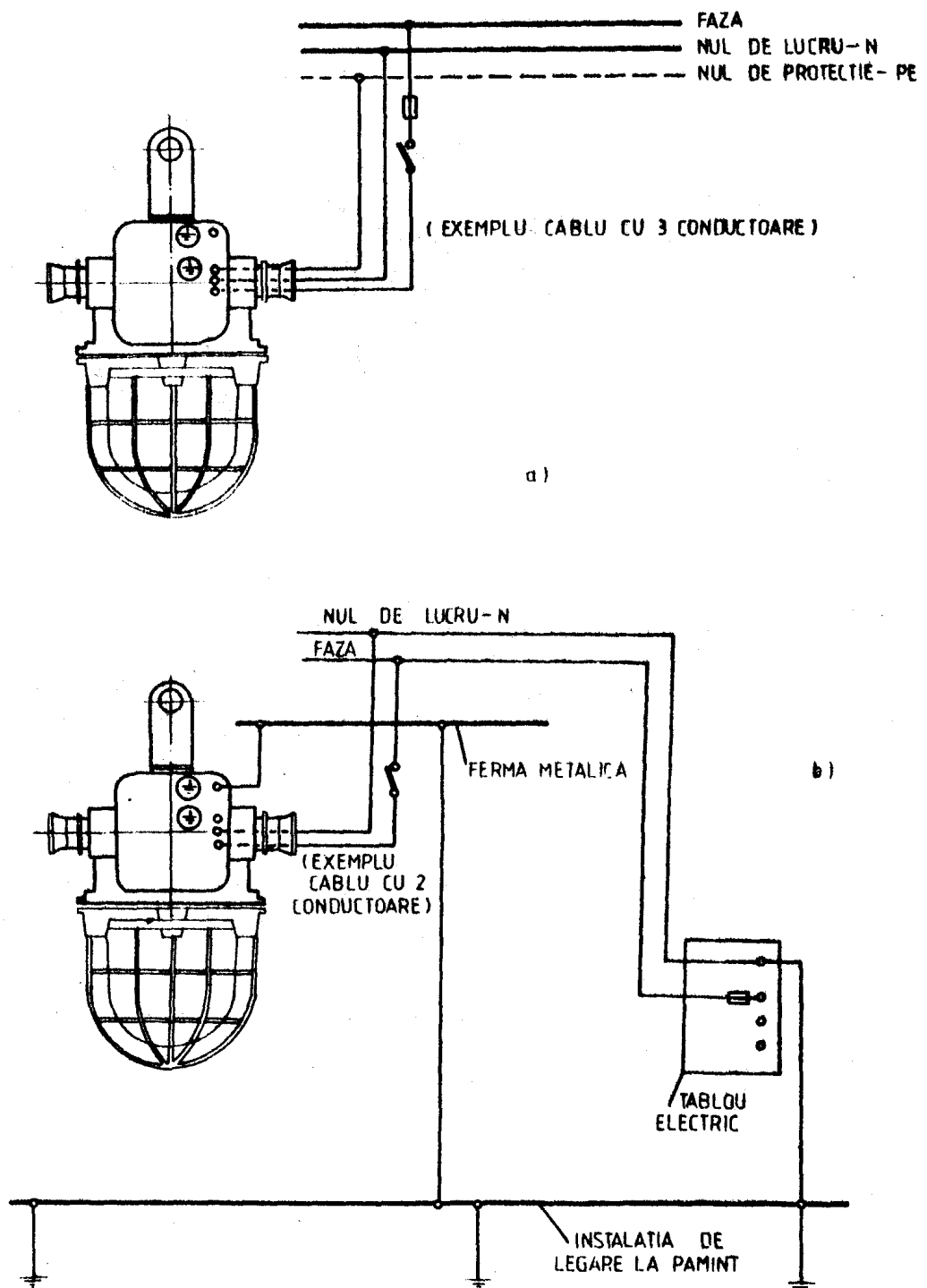


Figura 2 - Legarea corpului de iluminat

- a) La conductorul de nul de protecție
- b) La instalația de legare la pământ
(de exemplu prin armaturile metalice ale stâlpului)

3.1.4. Protecția automată la curenți de defect (PACD) cu dispozitiv diferențial la curent rezidual DDR. Protecția diferențială la curent rezidual

3.1.4.1. Condiții generale

Protecția diferențială la curent rezidual este destinată pentru declansarea (scoaterea de sub tensiune) rapidă (de regulă într-un timp mai mic de 0,2 s) a unui circuit electric la apariția unui curent defect I_d față de masă sau față de pământ.

Protecția diferențială la curent rezidual se încadrează în categoria protecției automate împotriva curenților de defect PACD, reglementată în standardele STAS 8275-87, STAS 12604/5-90, normativul I-7-2002, Normele generale de protecția muncii 1996 și NSSM 37/96.

Protecția diferențială la curent rezidual se realizează totdeauna cu ajutorul unui dispozitiv diferențial rezidual (DDR), asociat unui întreruptor automat cu bobina de declansare în următoarele 3 variante:

- face parte integrantă din întreruptorul automat;
- este asociat întreruptorului automat și este inclus în carcasa acestuia;
- este într-o carcasa separată și conectat prin legături electrice la întreruptorul automat.

În oricare din cele trei variante de mai sus, DDR acționează asupra bobinei de declansare a întreruptorului în vederea întreruperii circuitului protejat în cazul apariției unui curent rezidual.

Dispozitivul diferențial rezidual (DDR) are întotdeauna un tor care cuprinde toate conductoarele active și un buton de control al bunei funcționări (butonul de test).

La circuitele trifazate cu nul de lucru N, totdeauna întreruptorul și DDR sunt cu 4 poli (tetrapolar), simbol 4P.

La circuitele trifazate fără nul de lucru întreruptorul și DDR sunt cu 3 poli (tripolar), simbol 3P.

La circuitele monofazate (F și N), întreruptorul și DDR sunt cu 2 poli (bipolar), simbol 2P.

Protecția diferențială la curent rezidual se va utiliza în instalațiile electrice din rețelele de curent alternativ de joasă tensiune legate la pământ (simbol TT sau TN) și se va prevedea pe următoarele categorii de circuite electrice:

a) de alimentare cu energie electrică a unor receptoare electrice destinate să funcționeze nesupravegheate permanent de către personalul de deservire;

b) de alimentare cu energie electrică a unor receptoare cu componente electronice de importanță mare (valoare și/sau utilizare);

c) în care se prevăd și protecții rapide împotriva supratensiunilor; în aceste cazuri totdeauna protecția diferențială se montează în amonte (spre sursa de energie electrică) de dispozitivele de protecție împotriva supratensiunilor;

d) în cazurile în care nu se asigură prin protecția de suprasarcină și de scurtcircuit declansarea (deconectarea) în cel mult 3 s la apariția unui defect; la capetele circuitului datorită lungimii mari a acestuia sau secțiunii mici a conductoarelor (impedanțelor mari), sau în alte cauze care impun declansări rapide (mai puțin de 0,2 s); se are în vedere în special siguranța la foc și protecția rapidă împotriva electrocutărilor prin atingere indirectă, prin întreruperea (deconectarea) rapidă a circuitului cu un defect de izolație față de masă sau față de pământ;

e) în cazurile justificate tehnic și economic în care instalațiile de legare la pământ au rezistențe de dispersie mai mari decât cele impuse de legislația tehnică în vigoare pentru protecția prin legare la nul sau prin protecția prin legare la pământ (de exemplu în cazul solurilor de rezistivitate mare);

f) în cazurile în care se impune o protecție tehnologică împotriva defectelor rezistive la care protecția de suprasarcină sau de scurtcircuit nu acționează în timp util, curenții de defect fiind sub valorile curbelor de răspuns curent - timp ale acestor protecții; se exemplifică următoarele două cazuri:

- defectele de izolație incipiente (metalice sau la capete de înfasurări) în receptoare, care nelichidate în timp util pot conduce la evoluții cu distrugeri de echipamente și cu inițierea unui incendiu sau cu accidente de persoane;

- defecte prin rezistențe mari cum este ruperea și caderea conductoarelor circuitului pe elemente de susținere sau pe pământ, care, nelichidate în timp util, pot conduce la avarii și electrocutări de persoane.

Se vor avea în vedere de asemenea circuitele electrice menționate în NP I-7-2002 și norma NSSM 37/96.

Pentru prevederea protecției diferențiale la curenți reziduali în cazurile menționate mai sus, trebuie să se monteze întreruptoare automate cu DDR în următoarele categorii de tablouri electrice:

a) de distribuție a consumatorului TD, de regulă pe toate circuitele care se încadrează în cel puțin una din categoriile menționate la pct.3.6 (a ... f) din instrucțiunea 1RE-I-226-2002; se prevăd DDR fără temporizare (instantanee); în acest caz, de regulă $I_{\Delta n} = 0,03 \text{ A}$;

b) generale (de regulă) TG în cazul prevederii DDR instantaneu la TD; la TG se va prevedea DDR selectiv, simbol \boxed{S} , cu $\Delta t \leq 70 \text{ ms}$ și $I_{\Delta n2} = 0,1$ sau $0,3 \text{ A}$ din condiția $I_{\Delta n2} > 2I_{\Delta n1}$ și totdeauna când se prevăd la TG descarcatoare de clasă B sau C;

c) de măsură și protecție a furnizorului de energie electrică TMP unde este considerat punctul de delimitare între acesta din urmă și consumator; când se prevede o protecție împotriva supratensiunilor de frecvență industrială PMT și/sau la întreruperea nulului PN; întreruptorul cu DDR și modulul de tensiune asociat MVA cu cele două funcții PMT și PN se montează totdeauna în amonte de grupul de măsură (spre sursa de energie electrică). În acest caz rezultă, în mod obligatoriu, ca trebuie prevăzut DDR la tabloul general TG și la tablourile de distribuție TD dacă la TMP al furnizorului de energie electrică s-a prevăzut DDR sau dacă la TMP este prevăzut numai întreruptor automat cu protecție termică sau electromagnetică (fără DDR și MVA), dar curentul de defect maxim în instalație $I_{\text{max}} > 1,5 I_n$ (I_n fiind curentul nominal de funcționare a întreruptorului, respectiv treapta de funcționare a acestuia; DDR de la TMP - tabloul de măsură și protecție al furnizorului de energie electrică - va fi selectiv simbol \boxed{S} , cu $\Delta t \leq 140 \text{ ms}$ și $I_{\Delta n3} > 2I_{\Delta n2}$; de regulă $I_{\Delta n3} \leq 300 \text{ mA}$, pentru realizarea protecției împotriva inițierii unui incendiu (siguranța la foc) în instalația electrică protejată.

În cazul prevederii protecției diferențiale la curenți reziduali în două sau mai multe tablouri în trepte (în cascada) trebuie să se asigure selectivitatea necesară prin alegerea DDR selectiv, cu o anumită temporizare; a se vedea cele arătate mai sus.

De regulă, la alegerea DDR, se va ține seama de condiția :

$$I_{\Delta n2} > 2I_{\Delta n1}$$

unde $I_{\Delta n2}$ este curentul rezidual nominal al DDR din amonte (spre sursa de energie electrică) iar $I_{\Delta n1}$ al DDR din aval (față de DDR cu $I_{\Delta n2}$), respectiv spre circuitele consumatorului de energie electrică.

3.1.4.2. Instalația electrică a consumatorului trebuie să satisfacă următoarele condiții:

a) prevederea bornelor și conductoarelor de protecție PE în toate circuitele unde este necesară realizarea protecției împotriva inițierii unui incendiu la receptoarele electrice și împotriva socurilor electrice prin atingerea indirectă la carcasele și elementele de susținere a receptoarelor electrice și/sau protecția împotriva supratensiunilor cu descarcatoare și prin echipotentiere;

b) secțiunea conductoarelor active (de fază F și nul de lucru N) se vor determina în conformitate cu normativul republican NP I-7-2002 și standardul STAS 12604/5-90;

c) secțiunea conductorului de protecție PE va fi cel puțin egală cu cea a conductorului activ dar nu mai puțin de $S = 4 \text{ mm}^2$ dacă conductorul PE nu este inclus în distribuția conductoarelor de alimentare;

d) conductorul de protecție PE va fi din cupru sau oțel;

e) conductoarele active (de fază F și nul de lucru N) și cele de protecție PE vor avea învelișul exterior (izolația) de culori diferite, care vor fi menționate expres în documentația de proiectare. În circuitele trifazate conductoarele de fază F vor fi de culori diferite pentru cele trei faze; în cazul circuitelor monofazate conductoarele de fază pot fi de culoare albă sau roșie, iar conductoarele de nul de lucru N de culoare albastru deschis; de regulă izolația conductoarelor de protecție din cupru PE vor fi de culoare verde-galben;

f) în instalația electrică a consumatorului, conductoarele de protecție PE se montează în aceleași tuburi și doze cu conductoarele active (F și N); dacă circuitele sunt în cablu, conductoarele acestora pot avea funcțiile F, N și PE;

g) legăturile electrice ale conductoarelor de protecție PE din doze se vor izola față de legăturile conductoarelor active (F sau N); izolarile vor fi cel puțin la același nivel calitativ cu izolarile între conductoarele active;

h) legăturile electrice ale conductoarelor de protecție PE se vor realiza de preferință cu cleme speciale (de derivatie sau de îmbinare); legăturile prin rasucire trebuie să fie cositorite și izolate conform celor arătate la pct.g) de mai sus;

i) conductoarele de protecție PE și bornele de legătură din clemele PE ale tablourilor TG și/sau TD, din doze, din prizele de forță și fizele de alimentare a receptoarelor propriu-zise, vor fi izolate electric de conductoarele active și bornele acestora (F și N); astfel la toate aceste elemente bornele PE vor fi diferite și izolate față de bornele N;

j) totdeauna conductoarele PE se vor lega numai la bornele PE special destinate (la tabloul TG și TD, la fizele de alimentare, la carcusele receptoarelor); bornele PE din tablourile TG și TD vor fi folosite numai pentru conectarea conductoarelor PE; clemele vor avea borne de intrare - ieșire. Se admite ca în loc de clemă să se prevadă o bară PE cu borne cu suruburi, piulite și saibe elastice la care să se racordeze conductoarele cu papuci la capete; totdeauna borna va fi marcată cu semnul; contactele electrice vor fi de suprafață; este interzisă folosirea suruburilor cu vârf drept contact electric.

3.1.4.3. Condițiile tehnice necesare pentru coloana individuală CI (conducta electrică) de alimentare a tabloului consumatorului de la tabloul de măsură și protecție TMP al furnizorului de energie electrică, sunt următoarele:

- a) coloana CI de alimentare a tabloului consumatorului cuprinde întotdeauna:
- conductoarele active de fază notat L cu izolație de culori diferite pentru cele trei faze, rezervându-se culoarea albastru deschis pentru conductorul de nul de lucru N și culoarea verde - galben pentru conductorul PE;
 - conductorul activ de nul de lucru N cu izolația de culoare albastru deschis;
 - conductorul de protecție PE cu izolația de culoare verde - galben;
- b) conductoarele active vor avea secțiunea determinată conform NP I-7-2002, iar conductorul de protecție PE va avea secțiunea egală cu secțiunea conductorului activ de nul de lucru N, dar nu mai puțin de 4 mm² cupru dacă conductorul PE nu face parte din același cablu ca și conductoarele active;
- c) conductorul de protecție PE va fi din cupru sau oțel;
- d) conductoarele active și de protecție PE ale coloanei CE (F și N) se vor instala în una din următoarele variante:
- toate conductoarele active (F și N) și PE în același tub de protecție;
 - toate conductoarele fac parte din același cablu (cu conductoare de cupru);
 - conductoarele active F și N fac parte din același cablu iar conductorul de protecție PE este separat; cablul respectiv și conductorul PE vor fi protejate în același tub de protecție;
- e) conductoarele active F și N și de protecție PE vor fi racordate în borne distincte realizate cu clemă de racord sau în bară cu surub, piulita și saiba elastică pentru care capetele conductoarelor vor avea papuci de fixare; bornele clemelor de legătură (L, N sau PE) trebuie să aibă contacte de suprafață.

3.1.4.4. Condițiile tehnice necesare pentru tabloul de măsură și protecție TMP al furnizorului de energie electrică sunt următoarele:

- a) Carcasa tabloului va fi de preferință din material electroizolant rezistent la arc electric.
- b) În tablou se va prevedea o bară PEN cu patru borne cu suruburi, piulite și saibe elastice sau clemă specială PEN pentru racordarea următoarelor conductoare de legătură:
- conductorul PEN al racordului la rețeaua furnizorului de energie electrică;
 - conductorul N al circuitului care trece prin întreruptorul cu protecție diferențială;
 - conductorul PE al circuitului din coloana individuală de racord la tabloul consumatorului;
 - conductorul de legare la priză de pământ locală.
- c) În cazul carcasei tabloului TMP din material electroizolant, rezistența de dispersie a prizei de pământ locale rezultă din relația:

$$R_{pl} \leq 50 / I_{\Delta n}$$

unde $I_{\Delta n}$ este curentul rezidual nominal al protecției diferențiale din TMP. A se vedea tabelul de mai jos cu valorile rezistențelor de dispersie maxime admise R_{pl} ale prizei de pământ locale în funcție de tensiunea de atingere maximă admisă U_a și curentul rezidual nominal $I_{\Delta n}$ al DDR.

Curentul nominal rezidual al DDR $I_{\Delta n}$	Rezistența maximă a prizei de pământ R_{pl} (Ω)	
	$U_a = 50 \text{ V}$	$U_a = 25 \text{ V}$

3 A	16	8
1 A	50	25
500 mA	50	50
300 mA	166	83
30 mA	1660	833

În cazul carcasei tabloului TMP din metal, rezistența de dispersie a prizei de pământ locale trebuie să fie:

$$R_{pi} \leq 4 \Omega.$$

În toate cazurile bornelor clemelor (F, N sau PE) trebuie să aibe contacte de suprafață iar suruburile de fixare trebuie să fie cu cap îngropat; sunt interzise suruburile cu contacte directe pe conductor. La intrările în tablouri se vor prevedea cleme de separare.

3.1.4.5. Condițiile specifice de aplicare a protecției diferențiale, respectiv PACD cu DDR, sunt următoarele:

- a) se aplică numai în rețele de curent alternativ de joasă tensiune TT sau TN (condiționat și IT);
- b) izolația conductorului de nul de protecție trebuie să fie cel puțin la nivelul izolației conductoarelor de fază;
- c) PACD cu DDR trebuie să cuprindă totdeauna un dispozitiv de control al funcționării protecției;
- d) trebuie să existe totdeauna conductoare de protecție PE care, în aval de PACD respectiv în aval de întreruptorul cu DDR (spre consumatorul electric), să fie separate față de conductoarele active (față de conductorul de nul de lucru și conductoarele de fază).
- e) rezistența de dispersie R_p a prizei de pământ de protecție pentru asigurarea condițiilor de funcționare a DDR $> I_{\Delta n}$, trebuie să aibă cel mult valoarea rezultată din relația:

$$R_p \leq U_a / 1,25 I_{\Delta n}$$

unde:

U_a este tensiunea de atingere maximă admisă; de regulă pentru condiții normale de pericol se consideră $U_a = 50$ A; în general timpul de declanșare la protecțiile cu DDR este $t \leq 0,2$ s, protecțiile de bază având de regulă $t \leq 0,05$ s (timpul propriu al întreruptorului la care este asociat DDR);

$I_{\Delta n}$ este curentul nominal rezidual al DDR folosit pentru realizarea PACD.

3.1.4.6. În cazul rețelelor în schema TT cu implementarea protecției diferențiale cu DDR rezulta următoarele condiții specifice:

- neutrul rețelei este legat direct la pământ;
- masele sunt legate la o priză de pământ prin conductoare de ramificație și conductorul principal PE;
- primul defect de izolație față de masă sau pământ este eliminat prin dispozitivul diferențial rezidual DDR amplasat fie pentru întreaga instalație de la consumator fie pe fiecare circuit electric pentru obținerea unei selectivități;
- soluția cu legarea la pământ de protecție și cu dispozitiv de protecție diferențial rezidual pentru declanșarea la defect și scoaterea de sub tensiune este cea mai simplă posibil atât în ceea ce privește concepția cât și în ceea ce privește realizarea practică;
- în cazul în care masele care trebuie protejate sunt legate la prize de pământ diferite, este necesar ca pentru fiecare grupă de mase legate la aceeași priză de pământ să se prevadă câte un dispozitiv de protecție diferențial DDR.

Un dispozitiv de protecție DDR trebuie să fie instalat în amonte de circuitele (spre sursa de energie electrică) ale caror mase (grup de mase) sunt legate la o priză de pământ comună prin conductorul PE.

Valorile limita maxime admise pentru rezistența de dispersie R_p se determină în funcție de curentul $I_{\Delta n}$ și de tensiunea de atingere maximă admisă (50 V sau 25 V, în funcție de gradul pericolului de soc electric).

3.1.4.7. În cazul rețelelor în schema TN trebuie să se facă o distincție între:

- schema cu conductor de nul comun pentru lucru și protecție - simbol PEN; în acest caz schema are simbol TN-C;
- schema cu conductor de nul de lucru N separat de conductorul de nul de protecție PE; în acest caz schema are simbol TN-S.

În orice rețea TN va exista o porțiune în schema TN-C (cu conductor de nul comun PEN) și o porțiune sau mai multe în schema TN-S.

În cazul schemelor TN cu porțiuni în scheme TN-C și TN-S cu implementarea protecției diferențiale rezultă următoarele condiții specifice:

- neutrul rețelei este legat direct la pământ;
- masele sunt legate totdeauna la conductorul de protecție care la rândul lui este legat la pământ în mai multe puncte în conformitate cu cerințele standardului STAS 12604/5-90;
- primul defect de izolație față de masă sau față de pământ este eliminat prin dispozitivul diferențial rezidual DDR, dacă nu sunt realizate condițiile ca defectul să fie eliminat prin dispozitivele de protecție împotriva supracurenților respectiv prin protecția termică sau electromagnetică a întreruptorului de pe circuitul în cauză;
- dacă protecția la supracurenți nu este completată cu o protecție diferențială la curent rezidual, este necesară o verificare atentă a condițiilor de declansare prin protecția împotriva suprasarcinilor atât la concepția instalației cât și ulterior în exploatare; se impune totdeauna o verificare la punerea în funcțiune a instalației electrice, precum și după orice modificare sau extindere a acesteia; în cazul în care la o astfel de verificare rezultă că nu sunt îndeplinite condițiile de declansare la defect, este necesară prevederea complementară a unei protecții diferențiale la curent rezidual pe circuitele respective.

3.1.4.8. Schema TN-C

În toate cazurile, cu excepția circuitelor în care se prevede protecții diferențiale cu DDR (dispozitiv diferențial la curent rezidual), și a celor de alimentare a receptoarelor din tablourile electrice, se va folosi schema TN-C. Pentru cazurile în care se prevede protecții diferențiale cu DDR a se vedea pct.3.1.4.9.

În schema TN-C barele și conductoarele de nul se vor folosi în comun pentru lucru și pentru protecție. În această variantă (în schema TN-C) se vor folosi bare (borne) sau conductoare pentru nulul de lucru N separate de barele (bornele) sau conductoarele de protecție PE numai în circuitele de alimentare a receptoarelor (utilajelor, aparatelor, agregatelor, dispozitivelor) electrice. A se vedea pct.3.1.4.9.

Legăturile electrice între tablourile electrice (generale, principale, intermediare și secundare), la care se racordează sau nu și receptoare electrice, se realizează în conducte electrice (cabluri sau conductoare în tuburi) cu conductor comun de nul PEN (de lucru și de protecție). Fac excepție numai tablourile electrice secundare monofazate la care legăturile cu tabloul electric de alimentare (general, principal, intermediar) trifazat se vor realiza cu trei conductoare din care două active (fază și nul de lucru) și unul de nul de protecție PE. A se vedea pct.3.1.4.9.

La toate tablourile electrice generale, principale, intermediare sau secundare trebuie să se prevadă o bară de nul PEN folosită în comun pentru lucru și pentru protecție. Această bară de nul PEN trebuie să fie legată totdeauna printr-un conductor separat la instalația de legare la pământ a obiectivului respectiv.

Bară de nul PEN a unui tablou electric trebuie să aibă borne de legatură separate pentru fiecare conductor de nul racordat la această bară PEN. Este interzis ca la o bornă să se racordeze două sau mai multe conductoare PEN, N sau PE. Astfel bară PEN a tabloului va avea un număr suficient de borne pentru următoarele legături electrice:

- conductorul de racordare a barei PEN a tabloului în cauză la instalația de legare la pământ a obiectivului;
- conductoarele PEN de legatură cu alte tablouri racordate la tabloul în cauză;
- conductoarele de nul de lucru N al circuitelor de alimentare a receptoarelor electrice monofazate la tabloul în cauză;
- conductoarele de nul de protecție PE pentru carcasele metalice ale receptoarelor electrice alimentate din tabloul în cauză;
- conductorul de nul de protecție PE pentru carcasa metalică a tabloului în cauză.

În cazul în care tablourile de distribuție vin de la producător cu două bare de nul, și anume o bară N și o bară PE, aceste două bare trebuie să fie legate electric între ele.

În schemele TN-C se va acorda o atenție deosebită pentru racordarea barei de nul N sau PEN la instalația de legare la pământ a obiectivului respectiv printr-un conductor PE și o bornă de legătură separată la conductorul principal de legare la pământ unde se realizează această legătură.

3.1.4.9. Schema TN-S

Schema TN-S se va aplica numai în cazul următoarelor circuite:

- a) circuitele electrice sunt prevăzute cu protecții diferențiale cu DDR (dispozitiv diferențial la curent rezidual);
- b) circuitele electrice de alimentare a tablourilor electrice monofazate;
- c) circuitele electrice de alimentare a receptoarelor (utilaje, aparate, agregate, dispozitive) electrice monofazate sau trifazate care necesită și un conductor de nul de lucru N (cu rol de conductor activ).

În schemele TN-S tablourile electrice trebuie prevăzute cu două bare distincte de nul și anume:

- bară de nul de lucru simbol N;
- bară de nul de protecție simbol PE.

Bară de nul de protecție PE se va racorda la instalația de legare la pământ a obiectivului respectiv.

În cazul circuitelor prevăzute cu protecții diferențiale cu DDR trebuie să se realizeze totdeauna o schema TN-S astfel încât să se realizeze condițiile de funcționare a DDR (dispozitivului diferențial la curent rezidual). Introducerea acestui dispozitiv de protecție impune următoarele condiții principale:

- conductorul activ de nul de lucru N trebuie să fie separat (izolat electric) de conductorul de protecție PE începând cu bornele din amonte ale întreruptorului acționat prin DDR și până la carcasa receptoarelor electrice alimentate prin circuitele protejate cu DDR, aflate în aval de acesta;

- conductorul activ de nul de lucru N trebuie să fie izolat electric față de pământ (inclusiv față de conductorul de protecție PE) cel puțin la același nivel de izolație ca și conductoarele active de fază.

În cazul circuitelor electrice de alimentare a tablourilor monofazate trebuie să se realizeze de regulă o schema TN-S chiar dacă circuitele respective nu sunt protejate cu DDR.

În cazul circuitelor de alimentare a receptoarelor (utilaje, aparate, dispozitive, agregate electrice) totdeauna conductorul activ de nul de lucru N este separat de conductorul de protecție PE (de legare la nul sau de legare la pământ), realizându-se astfel circuite de alimentare în schema TN-S.

În aceste cazuri, conductorul de protecție PE trebuie să fie separat și izolat electric față de conductorul activ de nul de lucru N până la tabloul de distribuție în care bară comună de nul de lucru și de protecție PEN este racordată la instalația de legare la pământ a obiectivului respectiv.

3.1.4.10. Verificări înainte de darea în exploatare a protecției diferențiale

La darea în exploatare a unor instalații în care s-au prevăzut protecții diferențiale cu DDR trebuie efectuate următoarele verificări:

- marcarea bornelor și conductoarelor de fază L, de nul de lucru N, de nul de lucru și de protecție PEN (dacă este cazul), de protecție PE (prin culoare și/sau marcate cu litere sau semne);
- identificarea fazelor, nulului și conductorului PE și verificarea integrității lor;
- dacă sunt scoase patronele fuzibile sau poziția deschis a întreruptoarelor din TMP și din tabloul general TG al consumatorului și dacă întreruptoarele automate au fost blocate în poziția "deschis";
- măsurarea rezistenței de izolație pe L și N; aceasta se face cu un megohmetru de 2500 V; valoarea rezistenței de izolație se consideră satisfacătoare dacă este mai mare de 50 M Ω ;
- existența conductoarelor de protecție PE (de ramificație și principale) și a separării electrice ale acestora față de conductoarele active (de lucru) L și N;
- măsurarea rezistenței de dispersie a instalației de legare la pământ și la nul; rezistența de dispersie a prizei de pământ și a circuitului de nul trebuie să aibă valorile indicate în prezentul capitol;

- alegerea corectă a siguranțelor fuzibile și a întreruptoarelor automate; după racordarea la rețeaua furnizorului de energie electrică se montează patronele fuzibile și/sau se aduc întreruptoarele automate în poziția "închis";

- se verifică prezența tensiunii și se măsoară aceasta la tabloul general al consumatorului cu ajutorul voltmetrului;

- se verifică buna funcționare a dispozitivelor diferențiale la curent rezidual DDR și a modulelor de tensiune asociate MVA; în acest scop toate aceste dispozitive de protecție trebuie să fie prevăzute fiecare din fabricație cu butoane de testare a bunei funcționări; se verifică de asemenea legăturile dispozitivelor de protecție privind asigurarea condițiilor de funcționare a acestora în caz de defect (curent de defect la DDR sau tensiuni accidentale).

3.2. Rețele izolate față de pământ (simbol I). Protecția prin legare la pământ (simbol IT)

3.2.1. În rețelele izolate față de pământ, protecția împotriva atingerilor indirecte se va realiza prin aplicarea concomitentă a următoarelor măsuri:

a) legarea la pământ;

b) controlul permanent al izolației față de pământ a rețelei; se vor respecta prevederile standardelor STAS 12604/5-90 și STAS 12604-1987 pct. 3.1.9.1;

c) deconectarea rapidă în cel mult 3 s a sectorului defect în cazul unei puneri la pământ duble.

Se interzice legarea la pământ a vreunui circuit sau a unui conductor electric din rețeaua respectivă.

În rețelele trifazate punctul neutru al sursei va fi menținut izolat față de pământ și nu va fi folosit pentru închiderea vreunui circuit de lucru; se interzice, de exemplu, folosirea neutrului pentru circuitele de alimentare a utilajelor monofazate (iluminat, scule portative etc.).

3.2.2. Controlul permanent al izolației se va face în rețelele electrice de curent alternativ cu tensiuni peste 50 V și în rețelele electrice de curent continuu cu tensiuni peste 120 V.

Se vor prevedea dispozitive pentru semnalizare (optică și, după caz, și acustică) și deconectarea în cazul unor puneri simple la pământ.

Se admite funcționarea protecției numai pe semnalizarea punerilor simple la pământ și deconectarea automată a punerilor duble la pământ, cu condiția respectării prevederilor de la pct.3.2.9.d. de mai jos.

Fac excepție de la cele de mai sus circuitele de comandă alimentate de la transformatoarele monofazate, la care se admite ca în locul controlului permanent al rezistenței izolației față de pământ, să se facă un control periodic al acestei rezistențe, în următoarele condiții:

- transformatorul să fie folosit exclusiv pentru alimentarea circuitelor de comandă și semnalizare;

- puterea transformatorului să nu depășească 5 kVA.

3.2.3. Legarea la pământ de protecție în rețelele izolate față de pământ se va realiza prin recordarea carcaselor metalice ale tuturor echipamentelor electrice, atât la o rețea generală de protecție, cât și suplimentar, la o instalație de legare la pământ locală.

Rețeaua generală de protecție va realiza o legătură conductoare continuă între toate carcusele și elementele de susținere metalice ale echipamentelor electrice alimentate de la aceeași sursă de energie electrică (transformator sau generator), precum și o legătură de rezistență electrică neglijabilă între toate instalațiile de legare la pământ locale.

Fac excepție corpurile de iluminat care sunt prevăzute cu o singură legătură de protecție; se leagă obligatoriu numai la instalația generală de legare la pământ.

Cuțiile de îmbinare și ramificații ale instalațiilor de iluminat, aflate în zona de manipulare, se vor lega suplimentar și la priza de pământ locală.

3.2.4. Pentru realizarea instalației generale de legare la pământ de protecție se pot folosi, la alegere, următoarele:

a) conductoarele de protecție ale cablurilor (al patrulea conductor în cazul echipamentelor trifazate sau al treilea conductor în cazul echipamentelor bifazate);

b) învelisurile metalice continue din plumb sau aluminiu ale cablurilor;

c) conductoarele special destinate acestui scop (de exemplu, în cazul liniilor electrice aeriene);

d) tuburile metalice continue de protejare a conductoarelor electrice.

În cazul în care există mai multe sectoare alimentate de la aceeași sursă, rețelele generale de protecție ale fiecărui sector vor fi conectate între ele, constituind o rețea comună (generală).

3.2.5. Rețeaua generală de protecție trebuie să fie legată la cel puțin două prize de pământ situate în puncte diferite. Rezistența de dispersie a rețelei de legare la pământ va fi de cel mult 2Ω , pentru excavatiile subterane și de cel mult 4Ω , pentru celelalte categorii de instalații sau echipamente.

Se admite utilizarea unei singure prize principale de legare la pământ, în cazul excavatiilor subterane cu durata de funcționare sub 5 ani.

3.2.6. Legarea echipamentului electric la rețeaua generală de protecție și la instalația de legare la pământ locală se va executa la două borne diferite ale carcăsei, marcate cu semnele convenționale respective.

În cazul în care carcasa nu este prevăzută din construcție cu două borne diferite, se admite ca a doua legătură să se facă la un șurub de fixare a carcăsei respective, cu condiția ca legătura să se asigure cu saibe și piulite.

3.2.7. La o instalație de legare la pământ locală se vor racorda echipamentele electrice aflate sau grupate în aceeași zonă (clădire, galerie, platforma etc.).

Rezistența de dispersie a instalației de legare la pământ locală, se va determina astfel încât U_a și U_{pas} în cazul unei puneri la pământ simple să nu depășească următoarele valori (a se vedea și tabelul 2.2 din prezentul îndreptar):

a) 50 V, în cazul instalațiilor de curent alternativ și 120 V, în cazul instalațiilor de curent continuu iar timpul de deconectare în caz de defect trebuie să fie mai mic sau cel puțin egal cu 3s;

b) 25 V, în cazul rețelelor de curent alternativ din exploatarea subterană (exploatarea miniere).

Rezistența de dispersie a instalației de legare la pământ locale este :

$$R_p = \frac{U_a}{I_p}$$

sau

$$R_p = \frac{U_{pas}}{I_p}$$

unde I_p este curentul de punere simplă la pământ.

În cazul în care nu se dispune de date pentru determinarea curentului de punere simplă la pământ, rezistența de dispersie maximă admisă a prizei locale va avea următoarele valori:

a) 20 Ω pentru prizele de pământ locale aferente posturilor de transformare și instalațiilor din camerele de mașini (din exploatarea subterană);

b) 50 Ω pentru prizele de pământ locale aferente celorlalte instalații electrice.

3.2.8. În cazul în care realizarea unei rețele generale de protecție conduce la un cost ridicat al instalației, se admite racordarea numai la instalația de legare la pământ locală, cu respectarea concomitentă a următoarelor condiții:

a) rezistența de dispersie a instalației de legare la pământ să fie mai mică sau cel puțin egală cu 4 Ω ;

b) rețeaua electrică și echipamentele care sunt alimentate din aceasta să nu se afle în exploatarea subterană (unde se va realiza totdeauna o rețea generală de protecție);

c) să se aplice suplimentar dirijarea distribuției potențialelor și/sau izolarea amplasamentelor;

d) la dimensionare se vor lua în considerare în calcule următorii curenți:

- în cazul instalațiilor electrice echipate cu dispozitive care permit semnalizarea și deconectarea sectorului în cazul unei puneri la pământ simple, se ia curentul de punere simplă, însă nu mai puțin de 10 A;

- în cazul instalațiilor electrice echipate cu dispozitive care permit semnalizarea punerilor la pământ simple și deconectarea automată în cazul punerilor la pământ duble, se ia curentul de punere dublă la pământ, egal cu 1,25 ori valoarea de reglaj a protecției prevăzute împotriva punerilor duble la pământ.

4. REȚELE ELECTRICE DE ÎNALTA TENSIUNE

4.1. Rețele legate la pământ (simbol T). Protecția prin legare la pământ în schemele T₁T și T₂T

4.1.1. Condiții generale

4.1.1.1. În cazul rețelilor legate la pământ direct sau prin rezistența ohmică dimensionarea instalației de legare la pământ va fi astfel efectuată, încât să se realizeze tensiuni de atingere și de pas sub valorile admise de STAS 2612-1987 și tabelul 2.3 din prezentul îndreptar, în funcție de timpul de declansare la acționarea protecției de bază t_b și de categoria rețelei.

La stabilirea protecției de bază, se va avea în vedere situația de ansamblu a protecțiilor din rețea și se va considera cea protecție care trebuie să acționeze în mod normal cel mai rapid (prima) la o punere la pământ (scurtcircuit monofazat). Pentru rețelele legate la pământ prin rezistența ohmică se vor respecta și prevederile îndreptarelor 1 RE-I_p 35/1-90 și 1 RE-I_p 35/2-92.

Exemple:

- a) în cazul stațiilor cu tensiunea nominală de 220 kV sau mai mare se poate considera timpul protecției instantanee plus timpul propriu al întreruptoarelor (protecția diferențială de bare, protecția diferențială de transformator sau bloc generator); de regulă, timpul este de 0,15 - 0,2 s.
- b) la stațiile cu tensiunea nominală de 110 kV sau mai mică se poate considera timpul treptei a II-a a protecției de distanță de pe linia (liniile) care alimentează stația; în general, timpul este de 0,5 - 1 s.
- c) în cazul liniilor de transport se poate considera timpul primei trepte a protecției de distanță sau în cazul liniilor scurte, protecția diferențială a liniei; în general, timpul este de 0,15 - 0,2 s;
- d) în cazul liniilor de distribuție (cele radiale) se poate considera timpul primei trepte a protecției de distanță (sau a celei maxime); de regulă, timpul este de 0,5 - 1 s.

Acești timpi sunt indicați cu titlul de exemplificare, considerarea lor trebuie totdeauna justificată.

4.1.1.2. Instalația de legare la pământ trebuie să îndeplinească condițiile de stabilitate termică, luând în considerare timpul de trecere a curentului de punere la pământ prin priza, egal cu timpul protecției de rezervă; dacă acesta nu există, se ia timpul treptei a II-a a protecției de bază.

Se va considera ca protecția de rezervă, protecția care acționează în cazul refuzului de funcționare a protecției de bază la o punere la pământ (un scurtcircuit monofazat).

Exemple:

- a) în cazul stațiilor importante cu tensiunea nominală de 220 kV sau mai mare se poate considera timpul treptei a II-a a protecției de distanță, de la capetele opuse ale liniilor de alimentare (din amonte) pentru care, în general, timpul este de 0,4 - 1 s sau timpul unei protecții maxime din amonte pentru care timpul este de regulă 1,5 - 3 s;
- b) la stațiile cu tensiunea nominală de 110 kV sau mai mică, se poate considera timpul protecției maxime de pe liniile care alimentează stația respectivă; de regulă este de 0,8 - 3 s;
- c) în cazul liniilor de transport se considera treapta a II-a a protecției de distanță de pe elementele din amonte; de regulă, timpul este de 0,4 - 1 s;
- d) în cazul liniilor de distribuție se poate considera timpul treptei a II-a a protecției de distanță (sau a celei maxime); de regulă, timpul este de 0,8 - 3 s.

Acești timpi sunt indicați cu titlul de exemplificare, considerarea lor trebuie totdeauna justificată.

4.1.1.3. În calculele de dimensionare a instalației de legare la pământ, se va lua în considerare curentul efectiv de punere la pământ prin priza în cazul unui scurtcircuit monofazat în instalația respectivă sau în afara acesteia. Se va considera curentul maxim corespunzător etapei finale pentru care este proiectată instalația.

4.1.1.4. În vederea egalizării potențialelor în incintele stațiilor, centralelor, platformelor industriale etc., se vor lega între ele toate instalațiile de legare la pământ din incintă și se vor racorda la instalația de legare la pământ comună toate conductele metalice, cum sunt (conductoarele de protecție ale liniilor aeriene, conductele de apă și canalizare, învelisurile metalice ale cablurilor, tevilor cu fluide (chiar cele combustibile), sinele de cale ferată, armaturile metalice ale construcțiilor de beton armat și alte construcții metalice, realizându-se astfel o rețea generală de legare la pământ în incintă sau pe platforma.

4.1.2. Statii si posturi de transformare exterioare

4.1.2.1 Statiile si posturile de transformare exterioare îngradite se încadrează în categoria instalatiilor electrice cu circulatie redusa (în incinta), iar zonele din exteriorul acestora, vor fi încadrate fie în categoria instalatiilor electrice din zona cu circulatie redusa, fie în categoria celor cu circulatie frecventa, în functie de distanta fata de marginea drumurilor, a soselelor sau a îngradirilor locuintelor.

Pentru incintele statiilor de conexiuni si transformatoare exterioare, tensiunile de atingere si de pas maxime vor fi cele din tabelul 2.3 din prezentul îndreptar pentru zonele cu circulatie redusa, corespunzatoare unuia din cele doua cazuri si anume cu sau fara organizarea folosirii permanente si de catre toate persoanele a mijloacelor individuale de protectie izolante în timpul circulatiei sau a efectuării lucrurilor.

4.1.2.2. Pentru respectarea limitelor admise pentru tensiunile de atingere si de pas, în scopul respectării limitelor admise pentru tensiunile de atingere si de pas, se vor aplica întotdeauna urmatoarele masuri:

- se va realiza o instalatie de legare la pamânt folosind prizele de pamânt naturale, în special armaturile tuturor fundatiilor de beton armat si alte constructii metalice îngropate;
- se va realiza o priza de pamânt artificiala numai pentru completarea prizelor de pamânt naturale si numai daca este necesar; se va justifica prin proiect utilizarea prizei artificiale;
- se va realiza o instalatie de dirijare a distributiei potentialelor în jurul echipamentelor electrice.

În cazul în care cu aceste mijloace nu se pot obtine valorile admise ale tensiunilor de atingere si de pas, se va realiza izolarea amplasamentelor în zonele de acces din apropierea echipamentelor electrice.

4.1.2.3. Se va avea în vedere protectia împotriva transmiterii de tensiuni periculoase în afara incintei statiei prin: sine de cale ferata, cabluri, conducte metalice lungi (de exemplu, conductele de apa etc.),

4.1.2.4. Dirijarea distributiei potentialelor se aplica în situatia în care nu va fi posibil sa se obtina cu mijloace justificate economic o tensiune a instalatiei de legare la pamânt U_p mai mica sau cel mult egala cu valoarea maxima admisa pentru tensiunea de atingere U_a si de pas U_{pas} .

Stabilirea eficacitatii unei instalatii de dirijare a distributiei potentialelor se va face prin determinarea coeficientilor de atingere k_a si de pas k_{pas} definiti la pct. 1.3.5.1. si 1.3.5.2 (conform STAS 8275-87).

Tensiunile de atingere si de pas obtinute vor fi:

$$U_a = k_a \cdot U_p$$

$$U_{pas} = k_{pas} \cdot U_p$$

Daca U_a si U_{pas} sunt mai mici sau cel mult egale cu valorile maxime admise, instalatia de dirijare a distributiei potentialelor se considera corespunzatoare.

4.1.2.5. Izolarea amplasamentelor se va aplica în cazul în care U_a si U_{pas} rezultate în urma dirijării distributiei potentialelor depasesc valorile tensiunilor de atingere si de pas admise.

Izolarea amplasamentelor se va realiza prin acoperirea zonelor de circulatie si de deservire a echipamentelor cu piatra sfarâmata sau cu placi din beton sau asfalt.

Fata de cele de mai sus, conditiile pentru asigurarea unor tensiuni de atingere si de pas sub limitele admise, sunt:

$$\frac{k_a \cdot R_p \cdot I_p}{\alpha_a} \leq U_a \quad \text{si} \quad \frac{k_{pas} \cdot R_p \cdot I_p}{\alpha_{pas}} \leq U_{pas}$$

în care:

U_a (U_{pas}) este tensiunea de atingere (de pas) maxima admisa, conform tabelului 2.3 cu precizarile din prezenta lucrare, V;

R_p este rezistenta instalatiei de legare la pamânt de protectie;

I_p - curentul de punere la pamânt prin priza, în A;

k_a (k_{pas}) este coeficientul de atingere (de pas) corespunzator prizelor de dirijare a distributiei potentialelor;

α_a - coeficientul de izolare a amplasamentului, considerat pentru determinarea tensiunilor de atingere; daca nu sunt determinari pentru cazul respectiv se vor considera în calcule urmatoarele valori:

$\alpha_a = 2$, pentru balast (piatra sparta) de 15 cm grosime;

$\alpha_a = 3$, pentru dale de beton;

$\alpha_a = 5$, pentru asfalt de 2 cm grosime pe strat de pietris;

α_{pas} - coeficientul de izolare a amplasamentului considerat pentru determinarea tensiunilor de pas;

$$\alpha_{pas} = 4\alpha_a - 3$$

- daca nu sunt determinari pentru cazul respectiv se vor considera în calcule urmatoarele valori:

$\alpha_{pas} = 5$, pentru balast (piatra sparta) de 15 cm grosime;

$\alpha_{pas} = 9$, pentru dale de beton;

$\alpha_{pas} = 17$, pentru asfalt de 2 cm grosime pe strat de pietris.

4.1.2.6. Elementele componente ale instalatiilor de legare la pamânt de protectie trebuie sa fie stabile termic în conditiile standardului STAS 12604/4-89.

4.1.2.7. În cazul statiilor si posturilor de transformare care alimenteaza consumatorii din afara incintei acestora se vor avea în vedere tensiunile care se pot transmite acestora (a se vedea cele mentionate la pct.2.1.1 si 3.1.3.2 privind folosirea în comun a instalatiilor de legare la pamânt).

4.1.2.8. În toate situatiile când nu se adauga un strat izolant (piatra, dale de beton sau asfalt) se poate considera în calcul rezistenta electrica pe care o prezinta solul la trecerea curentului prin talpile omului R_d . La un singur picior $R_d \approx 3\rho$ unde ρ este rezistivitatea solului din punctul considerat.

În cazul tensiunilor de atingere $R_{da} = \frac{R_d}{2}$ fiind doua rezistente R_d în paralel (a se vedea fig.3).

În cazul tensiunilor de pas se considera $R_{dpas} = 2R_d$ fiind doua rezistente R_d în serie.

În aceste cazuri coeficientii de amplasament, sunt:

$$\alpha_a = \frac{R_{da} + R_h}{R_h} = \frac{R_{da}}{R_h} + 1$$

$$\alpha_a = \frac{1,5\rho}{R_h} + 1$$

si

$$\alpha_{pas} = \frac{R_{dpas} + R_h}{R_h} = \frac{R_{dpas}}{R_h} + 1$$

$$\alpha_{pas} = \frac{6\rho}{R_h} + 1$$

Este valabila, de asemenea, relatia mai sus:

$$\alpha_{pas} = 4\alpha_a - 3$$

4.1.2.9. În cazul în care se dimensioneaza instalatia de legare la pamânt având la baza curentul prin corpul omului I_h (conform celor mentionate la subcapitolul 2.2 din prezentul îndreptar), conditiile de calcul sunt:

$$R_p \leq \frac{I_h \cdot R_h \alpha_a}{k_a I_p} \quad \text{si} \quad R_p \leq I_h R_h \frac{\alpha_{pas}}{k_{pas} I_p}$$

unde:

$$\alpha_a = \frac{1,5\rho}{R_h} + 1 \quad \text{si} \quad \alpha_{pas} = \frac{6\rho}{R_h} + 1$$

Rezulta:

$$R_p \leq \frac{l_h(1,5\rho + 3000)}{k_a \cdot l_p} \quad \text{si} \quad R_p \leq \frac{l_h(6\rho + 3000)}{k_{pas} \cdot l_p}$$

sau

$$R_p \leq 1,5 l_h \frac{\rho + 2000}{k_a \cdot l_p} \quad \text{si} \quad R_p \leq 6 l_h \frac{\rho + 500}{k_{pas} \cdot l_p}$$

unde ρ este rezistivitatea solului în Ωm .

Daca se scrie conditia de la pct.2.2.4 $R_h \cdot l_h \leq U_a$, respectiv $R_h \cdot l_h \leq U_{pas}$ rezulta conditiile:

$$R_p \leq U_a \frac{\frac{\rho}{k_a \cdot l_p} + 1}{2000} \quad \text{si} \quad R_p \leq U_{pas} \frac{\frac{\rho}{k_{pas} \cdot l_p} + 1}{500}$$

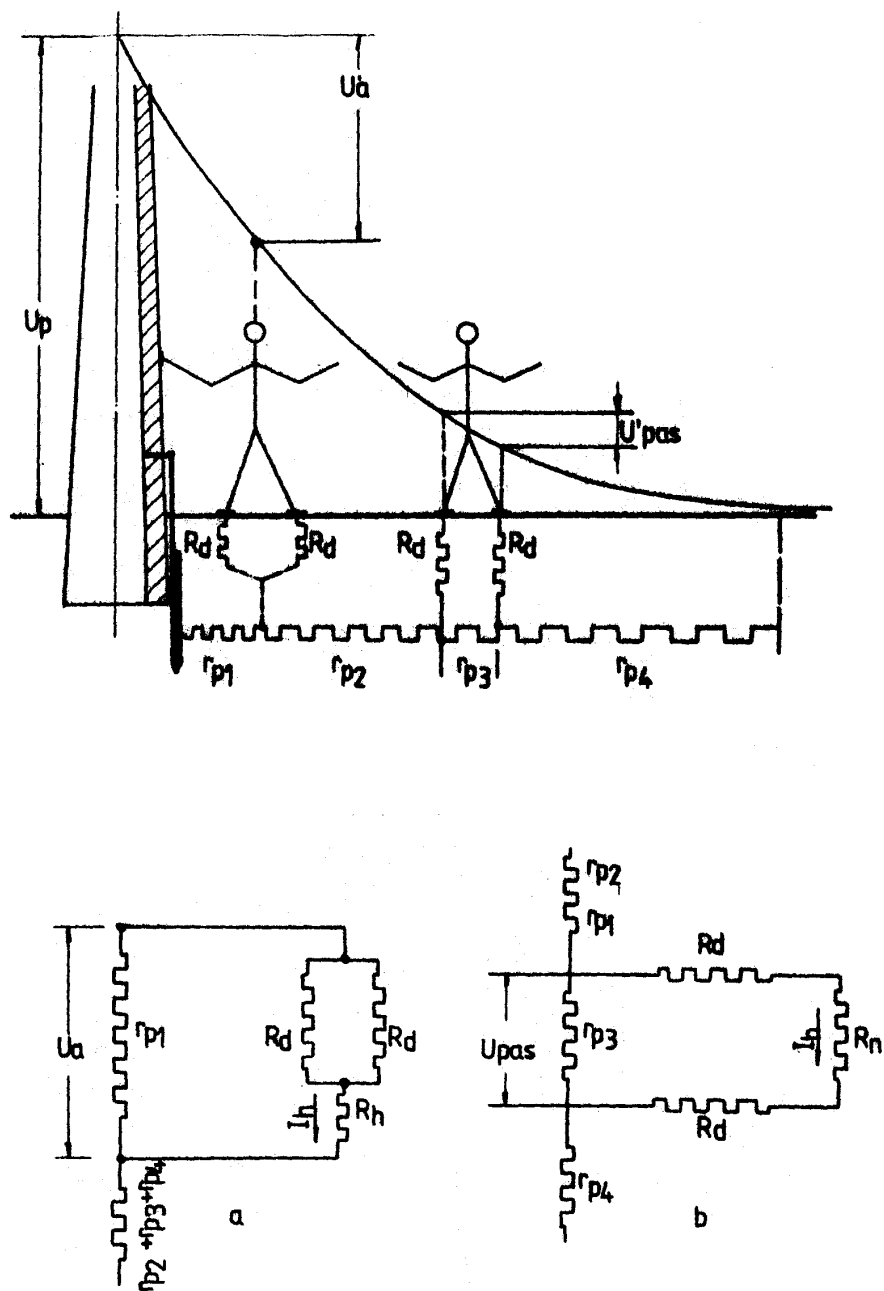


Figura 3 - Schemele echivalente pentru determinarea tensiunilor de atingere si de pas în functie de rezistența R_d :

- a) Tensiunea de atingere
- b) Tensiunea de pas

Exemplul 1 Incinta unei statii electrice cu folosirea permanenta de mijloace individuale de protectie $\rho = 100 \Omega\text{m}$; $t_b = 0,2 \text{ s}$; schema T_1T .

$I_p = 12000 \text{ A}$, $k_a = 0,06$ si $k_{pas} = 0,2$ (în urma unor determinari prin calcul) în functie de priza de dirijare a distributiei potentialelor (conform anexei 2 din prezentul îndreptar); conform tabelului 2.3.

$$U_a = U_{pas} = 500 \text{ V}$$

$$R_p \leq 500 \frac{\frac{100}{2000} + 1}{0,06 \cdot 12000} = 0,73 \Omega \quad \text{si} \quad R_p \leq 500 \frac{\frac{100}{500} + 1}{0,2 \cdot 12000} = 0,25 \Omega$$

Exemplul 2: Idem ca la exemplul 1, însa $\rho = 1000 \Omega\text{m}$.

$$R_p \leq 500 \frac{\frac{1000}{2000} + 1}{0,06 \cdot 12000} = 1,04 \Omega \quad \text{si} \quad R_p \leq 500 \frac{\frac{1000}{500} + 1}{0,2 \cdot 12000} = 0,625 \Omega$$

Exemplul 3: Idem ca la exemplul 1, însa $\rho = 2000 \Omega\text{m}$.

$$R_p \leq 500 \frac{\frac{2000}{2000} + 1}{0,06 \cdot 12000} = 1,39 \Omega \quad \text{si} \quad R_p \leq 500 \frac{\frac{2000}{500} + 1}{0,2 \cdot 12000} = 1,04 \Omega$$

Exemplul 4 cazul în care nu se prevede folosirea permanenta a mijloacelor individuale de protectie izolante, restul datelor fiind ca în exemplele 1 ... 3 de mai sus.

Schema T_1T ; $t_b = 0,2 \text{ s}$; $U_a = U_{pas} = 250 \text{ V}$

$$\text{Pentru } \rho = 100 \Omega\text{m} \quad R_p \leq 250 \frac{1,05}{720} = 0,365 \Omega \quad \text{si} \quad R_p \leq 250 \frac{1,2}{2400} = 0,225 \Omega;$$

$$\text{Pentru } \rho = 1000 \Omega\text{m} \quad R_p \leq 250 \frac{1,5}{720} = 0,521 \Omega \quad \text{si} \quad R_p \leq 250 \frac{3}{2400} = 0,313 \Omega;$$

$$\text{Pentru } \rho = 2000 \Omega\text{m} \quad R_p \leq 250 \frac{2}{720} = 0,695 \Omega \quad \text{si} \quad R_p \leq 250 \frac{5}{2400} = 0,521 \Omega.$$

Indiferent de rezultatele calculelor trebuie îndeplinita conditia $R_p \leq 1 \Omega$ pentru a se putea folosi în comun instalatia de legare la pamânt si pentru instalatiile de protectie împotriva descarcarilor atmosferice.

Deci, în cazurile în care din calcule rezulta $R_p > 1 \Omega$ este necesar sa se corecteze schema prizei de pamânt în ansamblu si respectiv de dirijare a distributiei potentialelor, astfel încât $R_p \leq 1 \Omega$. Aceasta înseamna ca se pot mari coeficienti de atingere sau de pas din cazurile respective, cu reducerea corespunzatoare a prizelor de dirijare (micsorarea numarului de electrozi paraleli prin cresterea distantelor dintre acestia).

4.1.2.10. Realizarea instalatiei de legare la pamânt.

Principalele elemente componente ale unei instalatii de legare la pamânt sunt urmatoarele (conform STAS 8275-87):

- prizele de pamânt naturale si artificiale (daca este cazul);
- conductoarele de legare la pamânt (principale, de ramificatie si de legare la prizele de pamânt).

De regula priza de pamânt artificiala se va realiza în modul urmator:

În incinta statiei, pe un contur situat la cel putin 1 m de îngradire, se va realiza o centura alcatuita din electrozi verticali, distribuiti uniform pe contur si legati între ei prin electrozi orizontali.

Electrozii verticali se vor confectiona, de regula, din teava de otel cu diametrul $\phi 2'' - 2 1/2''$ si cu o lungime $l = 2 \dots 3 \text{ m}$; acestia au un rol important în micsorarea tensiunilor de pas la marginea prizei de pamânt a statiei.

Adâncimea de înngropare a electrozilor verticali trebuie sa fie $h \geq 0,8 \text{ m}$, considerata de la capatul superior al electrodului pâna la suprafata solului. La aceeasi rezistivitate, cu cât adâncimea de

îngropare va fi mai mare, cu atât coeficientii de pas de la marginea prizei vor fi mai mici, iar rezistența de dispersie de trecere la pământ în general va scădea.

De regula, distanța între electrozi $a \geq 2l$. În condiții speciale această distanță se poate micșora dar ea nu poate fi mai mică decât $a = l$. Cu cât distanța "a" dintre electrozii prizei de pământ este mai mare cu atât coeficientii de ecranare vor fi mai mari, ceea ce determină la același număr de electrozi, o rezistență de dispersie rezultantă mai mică.

Electrozii orizontali (conductoarele de legătură dintre electrozii verticali) se vor executa din profile banda sau rotund, a cărui secțiune se va determina conform anexei 5.

Adâncimea de îngropare a electrozilor va fi de preferință 0,8 - 1,0 m, avându-se în vedere faptul că prin mărirea adâncimii de îngropare rezistența prizei de pământ se micșorează și este mai puțin influențată de condițiile atmosferice; de asemenea, se micșorează și coeficientii de pas la marginea prizei.

Drept prize de pământ naturale și legături la aceste prize, se vor folosi:

- armaturile metalice ale construcțiilor de beton armat, stâlpii, fundațiile cadrelor și ale aparatelor etc.;
- construcțiile metalice permanente;
- conductele metalice de apă;
- învelisurile metalice ale cablurilor îngropate;
- tevilor pentru forare.

Pentru determinarea rezistenței de dispersie a se vedea pct. A.1.5 ... A.1.8.

Se interzice luarea în considerare la dimensionarea instalației de legare la pământ, a următoarelor elemente:

- conductele prin care trec fluide combustibile;
- elementele care nu prezintă o secțiune suficient de mare;
- elementele care prin demontarea lor în timpul operațiilor de exploatare și întreținere, ar putea întrerupe circuitul de protecție.

Aceste elemente se vor racorda însă la instalația de legare la pământ, în vederea egalizării potențialelor.

În cazul conductelor prin care trec fluide combustibile, locurile de întrerupere vor fi în prealabil sântate.

Conductele metalice pentru apă îngropate în pământ, mantalele și armaturile metalice ale cablurilor, tevilor metalice de tubație etc., vor fi folosite, de regula, ca prize de pământ ajutoare, în special pentru a contribui la dirijarea potențialelor.

Pentru folosirea construcțiilor de beton armat drept prize de pământ naturale, trebuie îndeplinite următoarele condiții:

- se va realiza o legătură electrică (prin sudură) între barele verticale ale stâlpilor; această legătură se va executa cu o bară orizontală (etrier);
- se va realiza o legătură electrică între barele verticale ale stâlpilor (pilonilor) și armaturile metalice ale fundațiilor;
- se va prevedea o piesă metalică aparentă de racordare legată la barele verticale, pentru executarea legăturilor cu conductoarele principale de legare la pământ.

Dacă barele verticale ale stâlpilor de susținere sunt în contact cu armaturile metalice ale elementelor pe care le susțin (grinzi, stelaje etc.), realizându-se astfel o priză multiplă, conductoarele principale de legare la pământ nu trebuie să se lege la toți stâlpii. Se vor lega însă la cel puțin doi stâlpi care fac parte din priza multiplă realizată.

Pentru folosirea armaturilor unei construcții de beton armat drept priză de pământ naturală, se va prevedea încă din faza de proiectare și se va asigura prin execuție, continuitatea electrică a acestor armături, până la piesa de racordare menționată mai sus, fixată aparent în construcția respectivă și accesibilă pentru racordarea conductoarelor de legare la pământ.

Această piesă de racordare va fi din profil banda sau cornier având grosimea de cel puțin 3 mm și lățimea de cel puțin 40 mm.

Piesa de legătură (de racordare) va fi marcată prin vopsire cu semnul de legare la pământ.

Secțiunea echivalentă minimă a armaturilor fiecărui element de beton armat sau metalic folosit drept priză naturală de pământ sau conductor de legare la pământ, trebuie să fie de 100 mm^2 oțel.

Toate elementele care constituie prize de pământ naturale se vor lega la rețeaua conductoarelor principale de legare la pământ.

În stația exterioară, aceste conductoare sunt alcatuite din electrozii orizontali destinați dirijării distribuției potențialelor în conformitate cu pct.4.1.2.11 de mai jos.

4.1.2.11. Realizarea instalatiei de dirijare a potentialelor.

Pentru micșorarea tensiunilor de atingere și de pas în incinta stației, instalația de dirijare a distribuției potențialelor se va realiza în interiorul conturului prizei artificiale.

Această instalație va cuprinde următoarele elemente:

- rețeaua electrozilor pentru dirijarea distribuției potențialelor, care are și rolul unei rețele a conductoarelor principale de legare la pământ;
- prizele de pământ naturale și celelalte elemente legate pentru egalizarea potențialelor în stație;
- conductoarele de ramificație pentru racordarea la conductoarele principale de legare la pământ.

În stația exterioară, electrozii orizontali pentru dirijarea potențialelor se vor dispune sub forma unor benzi paralele la o distanță de circa 0,6 m de echipamente și vor trece prin zonele de deservire ale acestora.

Electrozii vor fi îngropați în stratul superficial al solului.

Acești electrozi fac parte din instalația de legare la pământ, constituind totodată și rețeaua conductoarelor principale de legare la pământ.

Rețeaua acestor electrozi se va lega deci la priza de pământ artificială și va avea legături cu toate obiectele prin intermediul conductoarelor de ramificație (fig.4).

Prizele de pământ orizontale de dirijare a distribuției potențialelor se vor executa cu electrozi din oțel lat sau rotund, având secțiunile impuse prizelor de pământ (conform STAS 12604/5-90).

Electrozii destinați micșorării tensiunilor de atingere trebuie să aibă o adâncime de îngropare de cel mult 0,6 m.

Se va atrage atenția în proiect, să nu se depășească această adâncime la construcție.

O micșorare mai accentuată a coeficienților de atingere în apropierea unor anumite obiecte se va obține prin îngroparea unor electrozi orizontali suplimentari la adâncimi variind între 0,1 m și 0,4 m pe o distanță de 0,8 m (cel mult 1m) față de obiect.

Electrozii se vor dispune după un contur în forma de inel, patrat, dreptunghi sau sub forma unor benzi paralele.

O micșorare mai accentuată a tensiunilor de pas la marginea prizei artificiale, se va obține prin electrozi suplimentari cu o adâncime de îngropare crescătoare până la cel mult 1,2 m.

Electrozii suplimentari se vor racorda, de asemenea, la priza de pământ complexă a stației.

În jurul cladirilor aflate în incinta stației exterioare va fi prevăzută la o distanță de circa 0,8 m de fundație, un contur de electrozi legați cu restul instalației.

La acest contur se vor racorda conductoarele principale de legare la pământ din interiorul clădirii, precum și armaturile metalice din stâlpii și fundațiile de beton armat ale clădirii.

De regulă, îngrădirile care delimitează incinta unei stații nu vor fi racordate la instalația de legare la pământ.

În cazul în care se constată în afara incintei tensiuni de atingere care depășesc valorile maxime admise, se vor executa prize suplimentare de dirijare a distribuției potențialelor.

Acestea vor fi legate numai cu îngrădirea (nu vor fi racordate cu instalația de legare la pământ din incinta).

Pentru legarea aparatelor electrice și a elementelor de susținere (conform pct.1.1.5 a prezentului îndrumar) la conductoarele principale de legare la pământ, se vor folosi, de regulă, două conductoare de ramificație pentru fiecare aparat sau cadru ale caror secțiuni însumate să corespundă condițiilor de stabilitate termică. Aceste conductoare de ramificație se vor racorda la două benzi de dirijare în vederea reducerii coeficientului de atingere și de pas.

Drept conductoare de ramificație (de coborâre de la aparate sau cadre) se pot folosi armaturile metalice sau corpul metalic al elementelor respective de susținere, asigurându-se continuitatea electrică necesară.

Se admite prevederea unor conductoare suplimentare de coborâre, numai pentru completarea secțiunii în vederea asigurării stabilității termice la scurtcircuit.

Dacă un aparat sau cadru are doi sau mai mulți stâlpi de susținere, pentru legarea la conductorul principal, sunt suficiente, numai două legături de ramificație dispuse la doi dintre stâlpii respectivi cu condiția ca armaturile metalice ale acestora să aibă o legătură electrică între ele.

În cazul în care în apropierea stației se afla clădirea pentru locuința personalului de deservire, este necesar să se ia măsuri pentru evitarea transmiterii unor tensiuni periculoase în cazul unei puneri la pământ în stație, astfel:

a) cazul în care locuinta se afla în imediata apropiere; se realizează o priză de dirijare cu trei contururi în jurul clădirii racordate la priză de dirijare (respectiv, instalația de legare la pământ) a stației prin cel puțin două legături;

b) cazul în care locuinta se afla la o distanță mai mare de 5 m de gardul stației; este necesar ca alimentarea cu energie electrică a locuintei (la joasă tensiune) să se separe de instalațiile din stație fie folosind o altă sursă (rețea) de racordare, fie folosind un transformator de separare galvanică; în aceste cazuri se realizează la locuinta personalului o priză de pământ pentru instalațiile electrice de joasă tensiune din clădirea respectivă respectându-se prevederile standardului STAS 12604/5-90.

4.1.2.12. Determinarea rezistenței de dispersie.

Priza de pământ artificială, legată în paralel cu prizele de pământ naturale și cu prizele de pământ orizontale destinate dirijării distribuției potențialelor, formează o priză de pământ complexă.

La determinarea rezistenței de dispersie a unei prize de pământ complexe se vor avea în vedere rezistențele de dispersie ale prizelor de pământ legate electric între ele cum sunt:

- R_{pv} a prizelor de pământ artificiale verticale;
- R_{po} a prizelor de pământ artificiale orizontale;
- R_{pd} a prizelor de pământ pentru dirijarea distribuției potențialelor;
- R_{pn} a prizelor naturale;
- R_{cp} a sistemelor constituite din conductoarele de protecție ale liniilor electrice aeriene și prizele de pământ ale stâlpilor legați la acestea;

Rezistențele de dispersie R_{pv} , R_{po} , R_{pd} și R_{pn} se vor determina, luându-se în calcul coeficienții respectivi de utilizare.

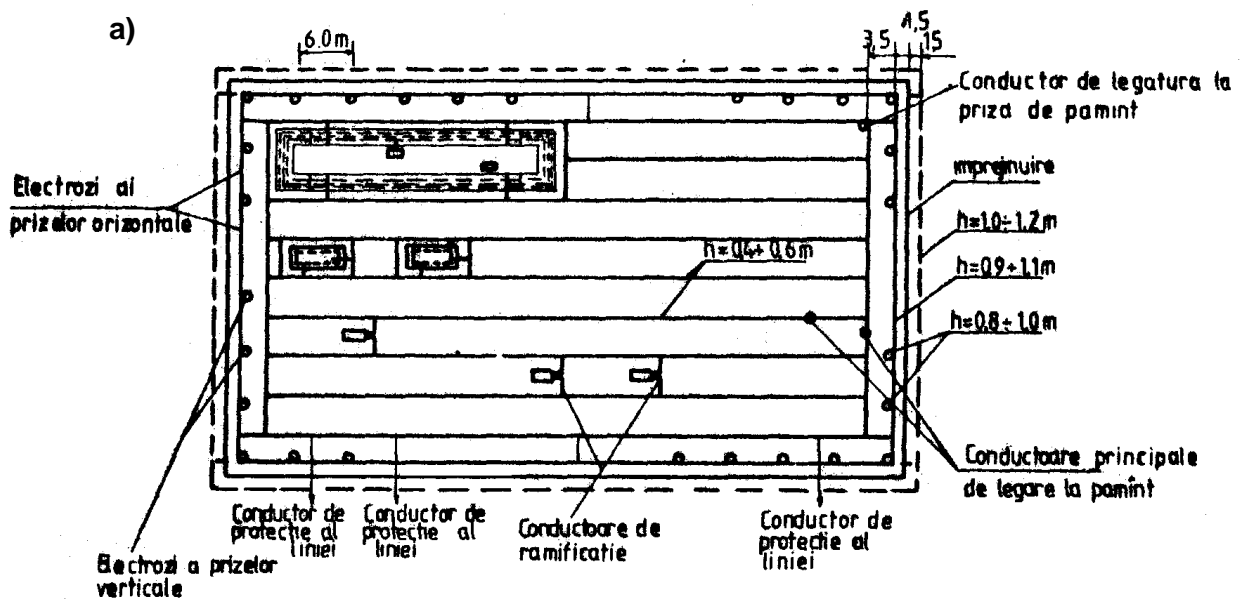
Modul de calcul al rezistenței de dispersie este arătat în anexa 1.

Pentru simplificarea calculelor, cu aproximarea admisibilă în cazul stațiilor exterioare, prizele de pământ orizontale destinate dirijării distribuției potențialelor, împreună cu diferitele prize naturale cu care sunt în contact electric (construcții de beton armat, conducte, învelisurile metalice ale cablurilor aflate în incinta respectivă), vor fi considerate o priză complexă, care se va asimila pentru calculul rezistenței de trecere la pământ cu o priză constituită dintr-o placă așezată pe suprafața solului și având dimensiunile suprafeței cuprinse în conturul exterior al electrozilor pentru dirijarea distribuției potențialelor.

La rețeaua electrozilor și conductoarelor principale de legare la pământ, se vor racorda totdeauna conductoarele de protecție ale liniilor electrice aeriene, care vin sau pleacă din stație.

Această legătură se va realiza fie prin prelungirea conductorului de protecție până la cadrul stației, fie prin prevederea a două conductoare îngropate la o adâncime de cel puțin 1,2 m care realizează legătura electrică între stâlpul din imediata vecinătate (legat la conductorul de protecție) și rețeaua conductoarelor principale de legare la pământ a stației. Conductoarele îngropate vor avea o secțiune echivalentă cu secțiunea conductorului de protecție, însă nu mai puțin de cea impusă conductoarelor de legare la pământ îngropate.

Rezistența de dispersie a instalației de legare la pământ se va verifica prin măsurări, înainte de darea în funcțiune (conform STAS 12604/5-90); a se vedea anexa 9 din prezentul îndreptar, considerându-se componenta din circuitul de scurtcircuit monofazat care se închide efectiv prin prizele de pământ.



4.1.2.13. Stabilirea sectiunilor conductoarelor de legare la pamânt si verificarea la stabilitate termica.

Stabilirea sectiunii conductoarelor de legare la pamânt si verificarea la stabilitate termica a instalatiei de legare la pamânt se vor face în conformitate cu STAS 12604/4-89, precum si cu indicatiile date în anexele 3 si 5 din prezenta lucrare.

Pentru verificarea la stabilitate termica a prizelor de pamânt, se va lua în calcul componenta din curentul de scurtcircuit monofazat care se închide efectiv prin electrozii prizei de pamânt.

Pentru determinarea sectiunii conductoarelor de legare la pamânt, se va lua în calcul valoarea curentului total de scurtcircuit monofazat în statie.

4.1.2.14. Determinarea coeficientilor de atingere si de pas

La dimensionarea prizelor de dirijare a distributiei potentialelor, se va avea în vedere ca micșorarea coeficientilor de atingere si de pas depinde de urmatorii factori:

- numarul prizelor orizontale "n" si distanta dintre acestea "a"; pe aceeasi suprafata cu cât "n" este mai mare si, deci, "a" devine mai mic, cu atât coeficientii de atingere si de pas vor fi mai mici;
- adâncimea de îngropare "h" a electrozilor orizontali; cu cât "h" va fi mai mic, cu atât coeficientii de atingere vor fi mai mici; la marginea prizei, cu cât "h" este mai mare cu atât coeficientii de pas în afara prizei vor fi mai mici;
- rezistivitatea ρ a stratului superficial al solului în care se afla electrozii prizei de dirijare a distributiei potentialelor; cu cât aceasta rezistivitate este mai mica în raport cu cea a straturilor mai adânci, cu atât coeficientii de atingere si de pas sunt mai mici si invers (într-un sol omogen, coeficientii nu depind de rezistivitatea acestuia);
- întinderea prizelor de pamânt; cu cât aceasta este mai mare, cu atât coeficientii de pas în afara zonei ocupate de priza sunt mai mici.

Pe suprafata ocupata de instalatia de dirijare a distributiei potentialelor, coeficientii de pas vor fi, în general, mai mici decât coeficientii de atingere; coeficientii de pas pot fi mai mari decât coeficientul maxim de atingere de pe aceasta suprafata la marginea si în afara instalatiei de dirijare (daca este necesar, micșorarea coeficientilor de pas în aceasta zona se va obtine prin adaugarea unor electrozi suplimentari).

Pentru calcularea coeficientilor de atingere si de pas se vor folosi indicatiile date în anexa 2.

Se vor verifica întotdeauna coeficientii de atingere si de pas prin masurari, înainte de darea în functiune a instalatiei de legare la pamânt exterioare.

Daca la masurari se constata valorile care le depasesc pe cele propuse, atunci se vor îmbunatatii instalatiile de protectie prin adaugarea unor prize orizontale suplimentare sau se va executa o izolare a amplasamentelor prin acoperiri cu materiale de rezistivitate mare.

4.1.2.15. Izolarea amplasamentelor

Pentru a lua în calcul izolarea amplasamentelor, se vor respecta indicatiile din anexa 4.

4.1.3. Statii si posturi de transformare interioare

4.1.3.1. Pentru respectarea limitelor maxime admise de STAS 2612-87 si STAS 12604/4-89, cu privire la tensiunile de atingere si de pas, se vor lua urmatoarele masuri:

- se vor folosi prizele de pamânt naturale;
- se va realiza o priza de pamânt artificiala, având în vedere indicatiile de la pct.4.1.2.;
- se va realiza egalizarea potentialelor în interiorul cladirii;
- se va realiza o instalatie de dirijare a distributiei potentialelor în exteriorul cladirii;
- se va aplica izolarea amplasamentelor atât în interior, cât si în exterior.

4.1.3.2. Se vor respecta indicatiile de la pct.4.1.2 (4.1.2.1 ... 4.1.2.9) privind mijloacele de respectare a tensiunilor de atingere si de pas admise si privind realizarea instalatiei de legare la pamânt 4.1.2.10, cu precizarile de mai jos.

4.1.3.3. Priza de pamânt artificiala si instalatia de dirijare a distributiei potentialelor în exteriorul cladiri se vor realiza în modul urmator (fig.5):

În exteriorul cladirii, la o distanta de 0,3 m de fundatie si la adâncimea de 0,2 m - 0,3 m fata de suprafata solului se va realiza un contur din otel lat sau otel rotund, în jurul cladirii, destinat micsorarii tensiunii de atingere.

Un al doilea contur, destinat aceluiasi scop, se va realiza în jurul cladirii la o distanta de 0,8 m de fundatie si la o adâncime de 0,4 - 0,6 m.

La o distanta de 1,5 - 2,0 m de fundatia cladirii, se va realiza o priza verticala respectiv un contur din electrozii orizontali care leaga între ei electrozi verticali distribuiti uniform pe contur astfel electrozii verticali vor fi legati între ei prin electrozi orizontali.

Electrozii verticali se vor confectiona, de regula, din teava de otel, cu diametrul $\phi 2'' - 2 \frac{1}{2}''$ si cu o lungime $l = 2 \dots 3$ m.

Ei se vor îngropa la o adâncime $h = 0,8 - 1,0$ m, considerata de la suprafata solului. Distanta dintre electrozii verticali, trebuie sa fie $a \geq 2l$. În conditii speciale se poate micsora aceasta distanta, însa ea nu poate fi mai mica decât $a = l$.

Electrozii orizontali (conductoarele de legatura dintre electrozii verticali) se vor confectiona din otel lat.

Adâncimea de îngropare a acestor electrozi va fi de 0,8 - 1,0 m si vor fi sudati la capatul superior al electrozilor verticali.

La o distanta de 1,5 m de conturul prizelor verticale si la o adâncime de 1 m se va realiza un ultim contur din otel lat sau rotund, destinat micsorarii tensiunii de pas.

Toate contururile indicate mai sus se vor lega între ele pe directia diagonalelor si pe patru directii perpendiculare pe laturile acestor contururi.

4.1.3.4. În interiorul cladirii, de-a lungul peretilor, se vor monta conductoarele principale de legare la pamânt, care, de regula, constituie circuite închise.

La aceste conductoare, prin ramificatii separate, se vor lega toate elementele indicate la pct.1.1.5. prizele de pamânt naturale, precum si diferitele elemente metalice existente în vederea egalizarii potentialelor. Se vor respecta indicatiile de la pct. 4.1.2.11.

Conductoarele principale se vor racorda la priza artificiala de pamânt prin cel putin doua legaturi separate.

4.1.3.5. Pentru determinarea rezistentei de dispersie se vor folosi indicatiile date la pct. 4.1.2.12, iar pentru verificarile la stabilitate termica indicatiile de la pct. 4.1.2.13.

4.1.3.6. Coeficientii de pas se vor determina în conformitate cu indicatiile de la pct. 3.1.2.14 si anexa 2.

4.1.3.7. Pentru micsorarea tensiunilor de atingere si de pas în exteriorul cladirii respectiv pentru cresterea coeficientilor de amplasament α_a si α_{pas} , se va realiza în jurul acesteia un trotuar din dale de beton sau din asfalt, având latimea de cel putin 1 m.

Pentru micsorarea tensiunii de atingere în interiorul cladirii în zonele de circulatie si de deservire vor fi prevazute covorase electroizolante din cauciuc.

Pentru luarea în calcul a izolarii amplasamentelor se vor utiliza indicatiile din anexa 4 si cele mentionate la pct. 4.1.2.5 si 4.1.2.8.

4.1.4. Instalatii electrice în incinta (platforma) centralelor electrice, a întreprinderilor industriale si agricole cu circulatie frecventa sau a statiilor electrice din localitati.

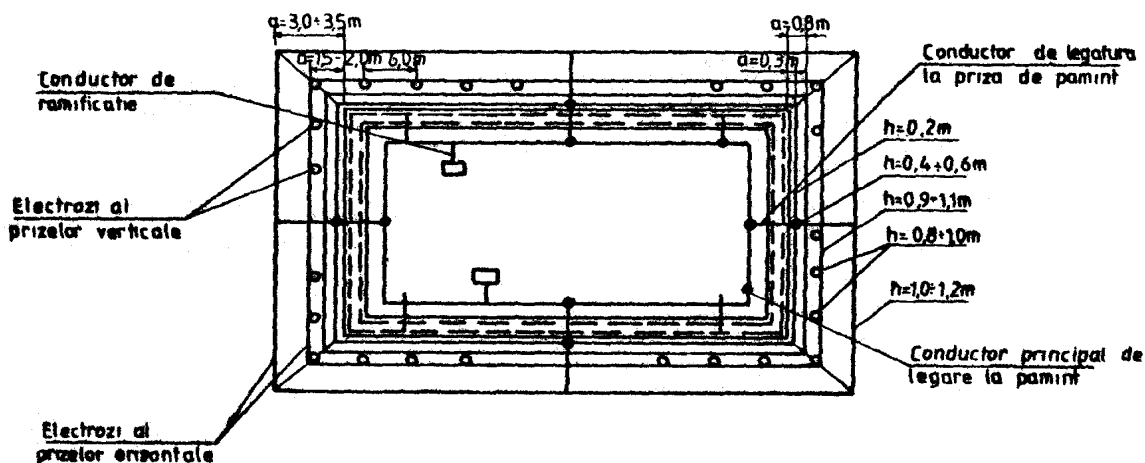


Figura 5 - Exemplu de realizare a instalatiei de legare la pamânt pentru o statie electrica interioara.

4.1.4.1. La centralele electrice, întreprinderile industriale sau agricole cu circulatie frecventa si statiile electrice urbane se vor distinge doua categorii de zone din punct de vedere al frecventei circulatiei:

- zonele cu circulatie frecventa, categorie în care intra teritoriul pe care este situata centrala electrica sau întreprinderea industrială sau agricolă (cu exceptia spatiilor din incintele instalatiilor electrice îngradite, ca de exemplu ale statiilor de transformare si conexiuni); pentru zonele cu circulatie frecventa, tensiunile de atingere si de pas maxime admise vor fi cele din STAS 2612/87 (12604/2-87) si tabelul 2.3 din prezentul îndreptar pentru zonele cu circulatie frecventa; conform pct.1.3, prin incinta agricola cu circulatie frecventa se înțelege incinta îngradita si supravegheata în care se desfasoara procesele tehnologice de prelucrare si depozitare în amenajari speciale a produselor agricole, fermele zootehnice si statiile de masini agricole;

- zonele cu circulatie redusa, categorie care cuprinde incintele instalatiile electrice îngradite, cum sunt statiile de transformare si conexiuni; pentru aceste zone tensiunile de atingere si de pas maxime vor fi cele din STAS 2612-87 (12604/2-87) si tabelul 2.3 pentru zonele cu circulatie redusa fara, respectiv cu folosirea mijloacelor individuale de protectie izolante.

4.1.4.2. Pentru respectarea limitelor maxime admise pentru tensiunile de atingere si de pas, se vor lua urmatoarele masuri:

- în incinta statiilor de transformare - se vor respecta indicatiile date pentru statiile de conexiuni si transformare de la pct.4.1.2 si 4.1.3 de mai sus.

Pentru echipamentele electrice aflate în afara îngradirii statiei de transformare se va folosi în comun instalatia de legare la pamânt a acesteia, data fiind prezenta a numeroase conducte, cabluri, constructii metalice si din beton armat si alte elemente metalice de pe platforma centralei electrice sau al întreprinderii industriale (agricole), care fac practic imposibila realizarea unor instalatii de legare la pamânt separate. Regula generala este sa se realizeze totdeauna o retea generala de legare la pamânt.

Toate elementele metalice vor fi legate între ele, cât si la priza de pamânt a statiei, în scopul egalizarii potentialelor.

Pentru conductele, cablurilor, sinele de cale ferata etc, care ies de pe platforma centralei electrice sau a întreprinderii industriale (agricole), se vor lua masuri de protectie împotriva transmiterii tensiunilor periculoase în afara incintei (platformei).

4.1.4.3. În incinta oricarei centrale electrice, întreprinderii agricole sau industriale si pe teritoriul oricarei platforme industriale trebuie sa se realizeze totdeauna o retea generala de legare la pamânt de protectie prin legarea între ele a tuturor instalatiilor de legare la pamânt din incinta sau de pe platforma respectiva, inclusiv a celor aferente instalatiilor de legare la pamânt de protectie folosite în comun.

Pentru defectele de pe partea de înalta tensiune, atât pentru echipamentele de joasa tensiune, cât și pentru cele de înalta tensiune, vor fi respectate valorile tensiunilor de atingere și de pas pentru zonele cu circulație frecvență conform STAS 2612-87 (12604/2-87) și tabelul 2.3, în funcție de timpul de deconectare a curentului de punere la pământ prin priza și de categoria rețelei.

Fac excepție zonele cu circulație redusă din incintele îngrădite ale instalațiilor electrice unde are acces numai personalul de specialitate și pentru care vor fi respectate valorile indicate în STAS 2612-87 și tabelul 2.3 pentru zonele cu circulație redusă fără, respectiv cu folosirea mijloacelor individuale de protecție.

4.1.4.4. În cazul în care o rețea de joasa tensiune alimentează consumatorii aflați în afara limitelor instalației de legare la pământ de protecție destinată echipamentelor de înalta tensiune, la folosirea în comun a prizei de pământ și pentru rețeaua de joasa tensiune, trebuie să se respecte condițiile din STAS 12604/5-90 și precizările de la pct.2.1.1.1. "a" și "b" din această lucrare, dacă pentru partea de joasa tensiune se aplică protecția prin legare la nul.

Dacă nu se pot respecta aceste condiții, este necesar ca instalația de legare la pământ pentru partea de înalta tensiune să fie separată de instalația de legare la pământ de protecție pentru partea de joasa tensiune, conform STAS 12604/5-90.

4.1.4.5. Pentru conductoarele de legatură între instalațiile de legare la pământ va fi verificată stabilitatea termică a acestora la solicitările de scurtcircuit la care pot fi supuse.

4.1.4.6. În vederea realizării instalației de legare la pământ, a obținerii tensiunilor de atingere și de pas sub valorile limita admise și a verificărilor la stabilitate termică, se vor respecta indicațiile date la pct.4.1.2 și 4.1.3. de mai sus, cu următoarele precizări pentru cazul folosirii în comun a instalației de legare la pământ:

- rezistența de dispersie rezultantă R_p trebuie să fie cel mult egală cu valoarea rezultată din condiția:

$$R_p \leq \frac{U_a \cdot \alpha}{r_k \cdot r_e \cdot r_i \cdot r_c \cdot I_{def}}$$

unde:

U_a este tensiunea de atingere maximă admisă în funcție de timpul protecției de bază din tabelul 2; pentru zonele cu circulație frecvență se consideră totdeauna $k_a = k_{pas} = 1$;

r_k - factorul de așteptare care are valorile:

- $r_k = 0,85$ dacă rețeaua electrică este în cabluri subterane;
- $r_k = 1$ dacă rețeaua electrică este aeriană;

r_e - coeficientul de echipotiere al incintei (platformei); dacă nu se dispune de valori determinate prin măsurări se vor considera următoarele valori de calcul:

- $r_e = 0,6$ dacă instalația de legare la pământ constituie o rețea buclată (circuite închise) iar distanța între prizele de pământ ale obiectelor din incintă (de pe platforma) este mai mică de 300 m;
- $r_e = 0,8$ idem, dar distanța dintre prizele de pământ din incintă (de pe platforma) este mai mare de 300 m;
- $r_e = 0,8$ dacă instalația de legare la pământ constituie o rețea ramificată, iar distanța dintre prizele de pământ ale obiectelor din incintă (de pe platforma) este mai mică de 300 m;
- $r_e = 1$ idem, dar distanța dintre prizele de pământ din incintă (de pe platforma) este mai mare de 300 m;

- r_i - factorul de reducere datorită învelisurilor metalice ale cablurilor de î.t.; în calcule se vor considera următoarele valori, dacă nu se dispune de alte valori indicate de furnizorii cablurilor:

- $r_i = 0,4$ în cazul cablurilor de î.t. armate și cu învelisuri metalice (plumb, aluminiu);
- $r_i = 0,85$ în cazul cablurilor de î.t. cu învelisuri exterioare din mase plastice cu ecrane din benzi sau sârme de cupru, iar rețeaua cablurilor de î.t. este buclată;
- $r_i = 1$ în cazul cablurilor cu învelisuri exterioare din mase plastice și numai cu ecrane din benzi sau sârme din cupru, iar rețeaua cablurilor de î.t. este ramificată;

- r_c - coeficientul de reducere a conductoarelor de compensare care însoțesc cablurile de

î.t.:

- $r_c = 0,7$ dacă $R_p > 1 \Omega$;
- $r_c = 0,8$ dacă $R_p \leq 1 \Omega$;
- $r_c = 1$ dacă nu se prevăd conductoare de compensare.
- α - coeficientul de amplasament; se determină în funcție de materialul folosit pentru izolare; dacă izolarea amplasamentului nu se poate aplica la toate receptoarele de î.t. și la toate echipamentele de j.t., se consideră $\alpha = 1$.
- I_{def} - curentul de scurtcircuit monofazat de calcul.

În cazul instalațiilor de legare la pământ din rețelele cu schema T₂T (legate la pământ prin rezistență) se vor avea în vedere și prevederile îndreptarului 1.RE-I_p 35/2-1992.

4.1.4.7. În general, pentru determinarea tensiunilor de atingere și de pas la obiectele racordate la o instalație de legare la pământ de rezistență R_{pm} cu care priza de pământ R_p a instalației (stăției) electrice cu defect are legătura conductivă, relația de calcul este:

$$\frac{k_{am} I_{pm} R_{pm}}{\alpha_{am}} \leq U_a \quad \text{și} \quad \frac{k_{pas m} I_{pm} R_{pm}}{\alpha_{pas m}} \leq U_{pas}$$

unde indicele "m" marchează parametrii instalației de legare la pământ de rezistență R_{pm} cu care priza stăției de rezistență R_p are legătura conductivă.

Curentul I_{pm} se determină cu relația următoare:

$$I_{pm} = I_p \frac{R_p}{R_p + R_{pm} + Z_{mo}}$$

unde:

I_p este curentul total de punere la pământ și reprezintă suma curenților de punere la pământ prin priza instalației de rezistență R_p și I_{pm} prin legătura conductivă cu priza de rezistență R_{pm} ; curentul I_p se obține din curentul total de scurtcircuit monofazat care trece prin rețeaua generală de legare la pământ, și reprezintă curentul efectiv prin priza de pământ complexă.

Z_{mo} - impedanța homopolară de calcul a legăturii conductive cu priza de rezistență R_{pm} .

Condițiile de calcul devin astfel:

$$\frac{k_{am}}{\alpha_{am}} R_{pm} I_p \frac{R_p}{R_{pm} + R_p + Z_{mo}} \leq U_a \quad \text{și} \quad \frac{k_{pas m}}{\alpha_{pas m}} R_{pm} I_p \frac{R_p}{R_{pm} + R_p + Z_{mo}} \leq U_{pas}$$

sau:

$$\frac{k_{am}}{\alpha_{am}} \cdot \frac{R_p \cdot I_p}{R_p + Z_{mo}} \leq U_a \quad \text{și} \quad \frac{k_{pas m}}{\alpha_{pas m}} \cdot \frac{R_p \cdot I_p}{R_p + Z_{mo}} \leq U_{pas}$$

În cazul în care priza de pământ a unei instalații electrice de înaltă tensiune, de exemplu a unei stații electrice, are legături conductive cu alte prize de pământ ale unor instalații electrice de la consumatorii de joasă tensiune, este necesar să se determine tensiunile de atingere la acești consumatori în cazul unui defect în instalația de înaltă tensiune.

Relația de calcul este:

$$U_a = r_e \cdot r_k \cdot R_{pn} \cdot I_{pn}$$

unde:

R_{pn} este rezistența de dispersie a sistemului constituit din rețeaua de nul de la consumatorii de j.t. și toate prizele de pământ cu care această rețea are legături conductive permanente;

I_{pn} - componenta din curentul total de punere la pământ I_p care se încheie prin sistemul de rezistență R_{pn} :

$$I_{pn} = I_p \frac{R_{ps}}{R_{ps} + R_{pn} + Z_0}$$

în care:

R_{ps} este rezistența de dispersie a instalației de legare la pământ din instalația electrică de înaltă tensiune (de exemplu, o stație electrică "s");

Z_0 - impedanta homopolara echivalenta de calcul a legaturilor dintre sistemul de rezistenta R_{pn} si instalatia de legare la pamânt de rezistenta R_{ps} .

Daca retea de joasa tensiune este în cablu, iar retea de conductoare de nul este buclata, rezulta $r_k = 0,85$ si $r_e = 0,8$ si, deci:

$$U_a = 0,68 R_{pn} I_{pn}$$

unde, conform celor aratate mai sus:

$$I_{pn} = I_p \frac{R_{ps}}{R_{ps} + R_{pn} + Z_0}$$

I_p fiind suma curentilor de punere la pamânt prin priza statiei de rezistenta R_{ps} si prin legaturile conductive cu sistemul de rezistenta R_{pn} .

Acest curent I_p se obtine din curentul total de punere la pamânt prin retea generala de rezistenta R_p din care se scad toti ceilalti curenti care se închid prin legaturile constructive cu alte prize de rezistenta $R_{p1} \dots m$.

Expresia tensiunii de atingere devine:

$$U_a = 0,68 \cdot R_{pn} \cdot I_p \frac{R_{ps}}{R_{ps} + R_{pn} + Z_0}$$

Exemplul 1: $R_{pn} = 0,1$; $R_{ps} = 0,2$
 $I_p = 5000$ A si $Z_0 = 1,2$

În acest exemplu rezulta:

$$U_a = 0,68 \cdot 0,1 \times 5000 \cdot \frac{0,2}{0,1 + 0,2 + 1,2}$$

$$U_a = \frac{68}{1,5} = 46 \text{ V sub valoarea maxim admisa de } 65 \text{ V}$$

daca timpul de declansare la defectul pe

partea de 110 kV din statie este de 0,8 ... 3 s.
 Daca se considera o legatura conductiva echivalenta având o impedanta homopolara $Z_0 = 0,75 \Omega$ de exemplu prin adaugarea unor conductoare scurtcircuitate la capete în cazul unui cablu scos de sub tensiune, curentul prin sistemul de rezistenta R_{pn} este:

$$I_{pn} = 5000 \frac{0,2}{1,05} \cong 1000 \text{ A.}$$

Exemplul 2:

Datele din exemplul 1, cu deosebirea ca timpul protectiei este de 0,2 s, iar pentru care tensiunea de atingere admisibila este 125 V.

În acest caz rezulta posibila reducerea impedantei Z_0 la valoarea rezultata din urmatoarea relatie:

$$\frac{0,68 \cdot 0,1 \times 5000 \times 0,2}{0,1 + 0,2 + Z_0} \leq 125 \text{ V, de unde rezulta necesar obtinerea unei valori } Z_0$$

= 0,24 Ω , de exemplu prin adaugarea unor conductoare suplimentare de compensare, pentru a nu se depasi tensiunea admisa de 125 V.

Pentru determinarea valorii lui Z_0 minima admisa (tinând seama si de scurtcircuitarea si legarea la pamânt a conductoarelor unui cablu scos de sub tensiune) se poate folosi relatia:

$$0,68 R_{pn} I_p \frac{R_{ps}}{R_{ps} + R_{pn} + Z_a} \leq U_a$$

sau conditia:

$$Z_0 \geq \frac{0,68 I_p}{U_a} R_{pn} R_{ps} - (R_{pn} + R_{ps})$$

4.1.5. Stâlpii liniilor electrice aeriene

4.1.5.1. Prevederi generale

La stâlpii LEA prizele de pamânt se dimensioneaza tinând seama de valori normate ale tensiunilor de atingere si de pas conform celor indicate în cap.2 al prezentului îndreptar care sunt în

conformitate cu STAS 2612-87, STAS 12604/4-89 și 12604/5-90 cu condițiile de dimensionare din subcap.1.1. și cap.2.

Coeficienții de atingere și de pas k_a și k_{pas} corespunzătorii prizei de pământ locale de la stâlp și cei de amplasament α_a , α_{pas} și β constituie practic parametrii principali, care trebuie folosiți pentru atenuarea valorilor U_a și U_{pas} sub limitele maxime admise. Coeficienții de atingere și de pas (k_a și k_{pas}) ai unui anumit tip de priza de pământ depind numai de dimensiunile și forma prizei respective.

După determinarea rezistenței de dispersie maximă admisă din considerentele arătate mai sus trebuie să se verifice și condiția de declansare a sistemului de protecție prevăzut;

$$I_{def} \geq 2 \cdot I_r$$

unde: I_r este curentul minim de funcționare a protecției.

Pentru stâlpi, priza de pământ cu care se pot obține coeficienții de atingere și de pas doriți cu costuri cât mai mici, este cea orizontală, cu electrozi înelari sau în formă de patrat, cu patru raze și, eventual, cu electrozi verticali la extremități; a se vedea prizele de pământ de dirijare a distribuției potențialelor pentru stâlpii LEA din STAS 12604/5-90 și fig.6 ... 10 din prezentul îndreptar. Se impune o astfel de priza cu electrozi de dirijare datorită simetriei ei, necesară pentru asigurarea coeficienților de atingere și de pas doriți în toate punctele din jurul stâlpului. Alegerea uneia din tipurile de prize din fig. 6 ... 10 se va face în funcție de condițiile specifice care sunt în principal determinate de următorii factori:

- rezistivitatea solului ρ , de care depinde rezistența de dispersie a prizei de la stâlp, R_{ps} ;
- valoarea limită a tensiunilor de atingere și de pas care trebuie respectată conform STAS 2612-87 și STAS 12604/5-90;
- curentul efectiv de calcul de punere la pământ I_p prin priza de pământ respectivă;
- posibilitatea de realizare a unui anumit tip de priza de dirijare pe terenul disponibil pentru aceasta;
- posibilitatea realizării unei izolări a amplasamentului în jurul stâlpului pe o distanță de cel puțin 0,8 m, prin acoperire cu piatră spartă, dale de beton sau asfalt etc.

Se poate aplica una din următoarele variante:

I) adăugarea la priza naturală a stâlpului a unor electrozi, orizontali și verticali, la stâlpul la care trebuie micșorată rezistența de dispersie pentru satisfacerea condițiilor de obținere a unor tensiuni de atingere și de pas sub limitele admise; rezistența de dispersie rezultantă R_{ps} se va determina cu relația:

$$R_{pa} = \frac{R_{pn} \cdot R_{pa}}{R_{pn} + R_{pa}}$$

unde R_{pn} este cea a prizei naturale, iar R_{pa} este rezistența prizei adăugate, considerându-se coeficientul de utilizare corespunzător fiecărei prize în parte.

II) legarea între ele a două sau a mai multor prize de la doi sau mai mulți stâlpi învecinați cu un conductor neizolat îngropat în pământ; acest conductor constituie și o priza de pământ orizontală de o rezistență de dispersie r_{p0} care poate să contribuie apreciabil la reducerea rezistenței de dispersie rezultante R_{ps} ; adâncimea de îngropare a conductorului de legătură va fi totdeauna mai mare de 0,5 m; prevederea unui astfel de conductor pentru legarea între ele a tuturor prizelor din LEA respectivă și la priza stației, conduce practic la realizarea unui conductor cu rol și de compensare practic cu $r_c = 0,7$ (a se vedea și cele indicate în varianta a III-a);

III) legarea între ele a două sau mai multor prize de la doi sau mai mulți stâlpi învecinați cu un conductor montat pe stâlpi, de regulă neizolat, racordat la prizele de pământ ale stâlpilor (naturale și artificiale) prin intermediul armaturilor metalice din stâlpi folosite drept conductoare de coborâre; un astfel de conductor dacă se montează pe toți stâlpii LEA de î.t de la stația de alimentare și până la postul de transformare și este legat la instalațiile de legare la pământ de la stație și post, va constitui un conductor de compensare cu toate avantajele unui astfel de conductor. Conductorul de compensare se va aplica în cazuri justificate, când nu se poate aplica practic o altă soluție de obținere a tensiunilor de atingere și de pas sub limitele admise.

4.1.5.2. Stâlpii LEA fara aparataj

La stâlpii LEA fara aparataj, prizele de pământ se dimensionează ținând seama de valorile normate ale tensiunilor de atingere și de pas, numai în zonele cu circulație frecventă din localități și la stâlpii LEA din incintele industriale și agricole cu circulație frecventă.

Pentru stâlpii LEA fara aparataj din afara localitatilor sau din zonele cu circulatie redusa din localitati, prizele de pamânt nu se dimensioneaza, din considerente de protectie împotriva tensiunilor de atingere si de pas; aceasta prevedere este valabila si pentru zonele (incintele) agricole, gradinile cu legume, livezile cu pomi, viile etc. cu circulatie redusa. Conform pct.1.3 din prezentul îndreptar, zona (incinta) agricola cu circulatie redusa este zona neîngradita sau incinta neîngradita, care nu intra în categoria incintelor cu circulatie frecventa cum sunt culturile mari.

La stâlpii LEA fara aparataj din zonele cu circulatie frecventa din localitati, conditiile de determinare a rezistentei de dispersie a prizei de pamânt R_{ps} , la care se leaga un stâlp sau mai multi stâlpi este:

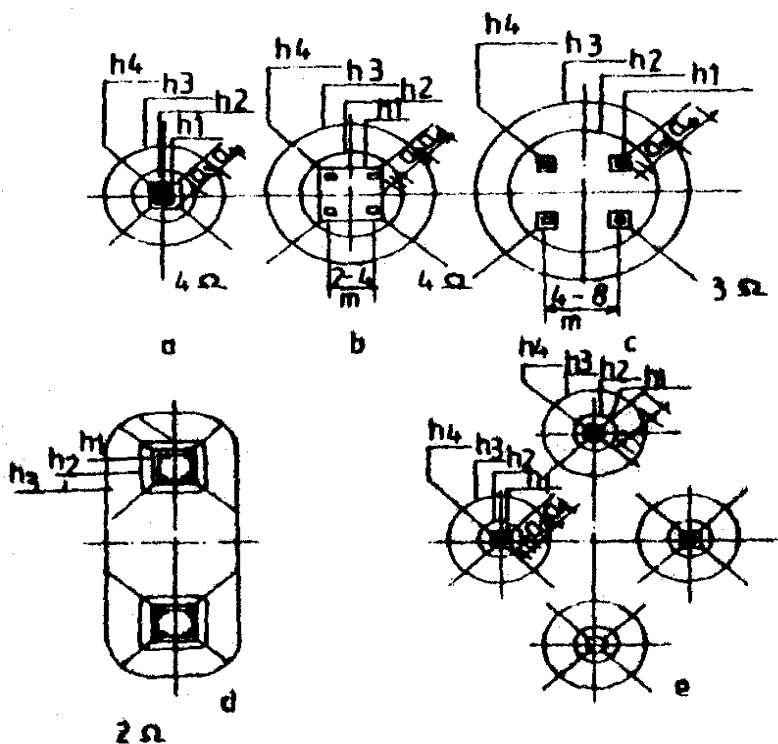


Figura 6 - Tip constructiv de priză pentru linii de înalta tensiune din zonele cu circulație frecventă din localități:

- a)- pentru stâlpi din beton armat; b)- pentru stâlpi metalici tip turn;
- c)- pentru stâlpi metalici tip turn; d)- pentru stâlpi metalici tip portal;
- e)- pentru stâlpi metalici tip portal ancorat.

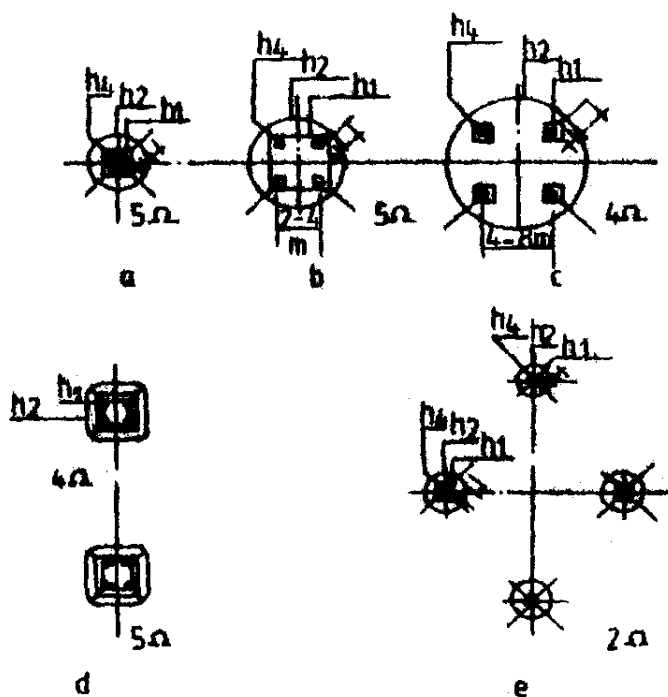


Figura 7 - Tip constructiv de priză pentru linii de înalta tensiune din zonele cu circulație redusă:

- a)- pentru stâlpi din beton armat; b)- pentru stâlpi metalici tip turn;
- c)- pentru stâlpi metalici tip turn; d)- pentru stâlpi metalici tip portal;
- e)- pentru stâlpi metalici tip portal ancorat.

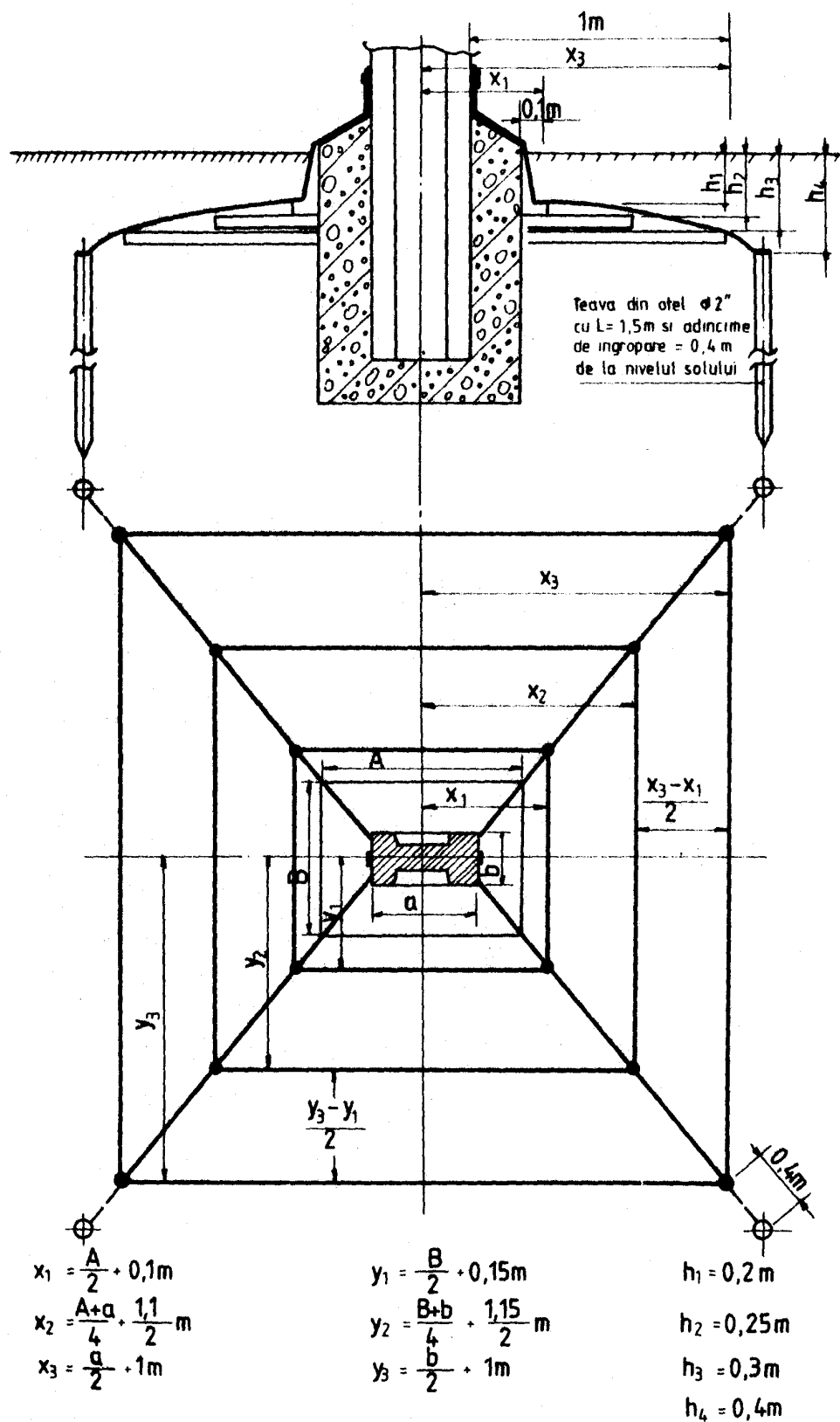


Figura 8

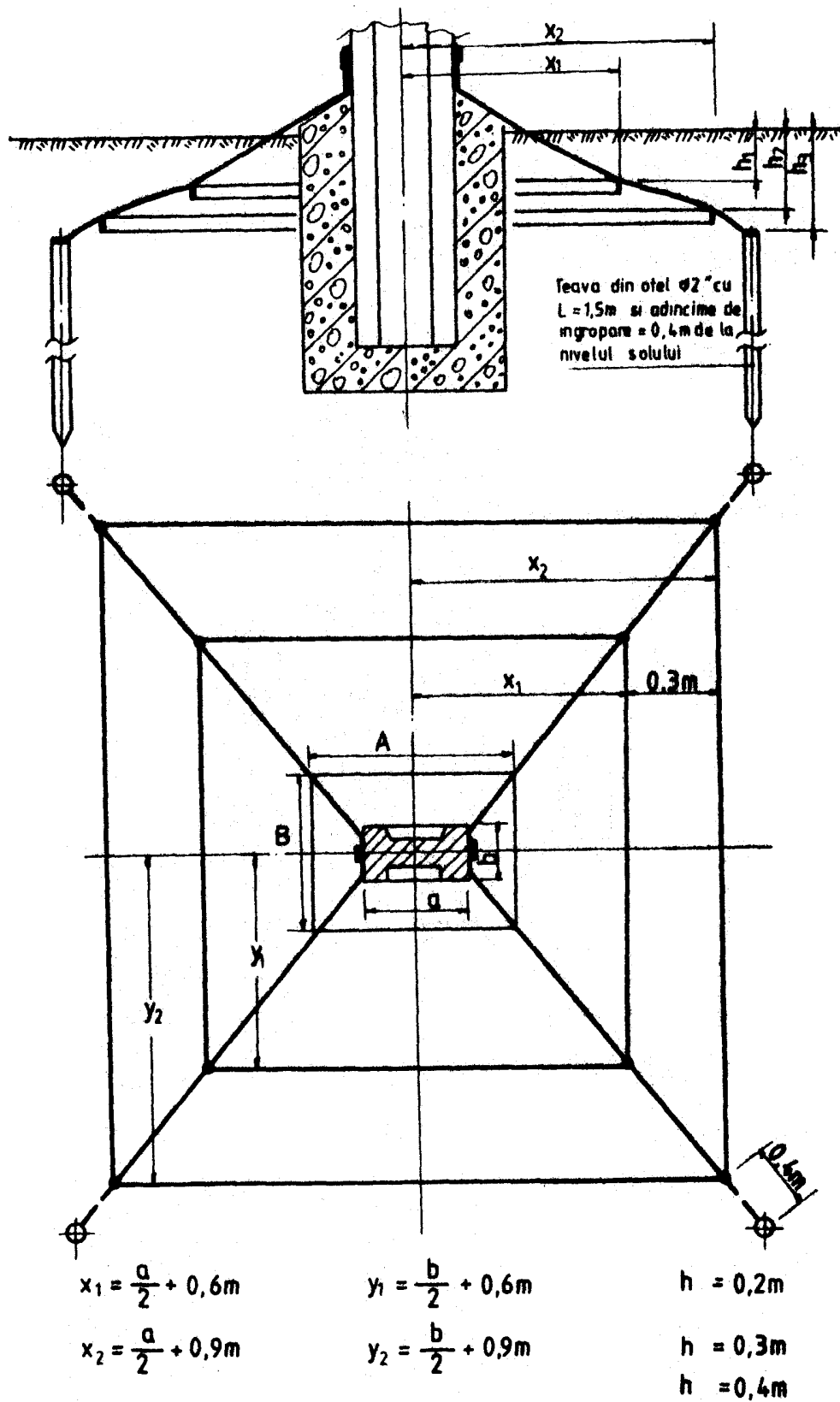
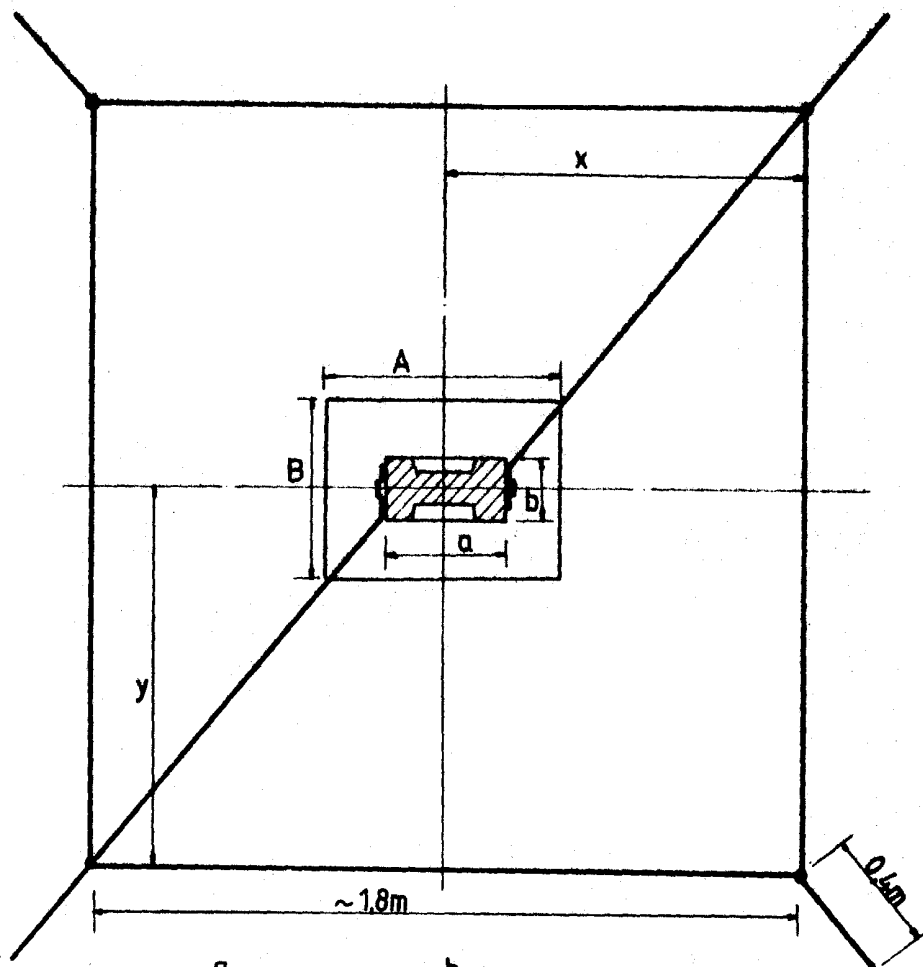
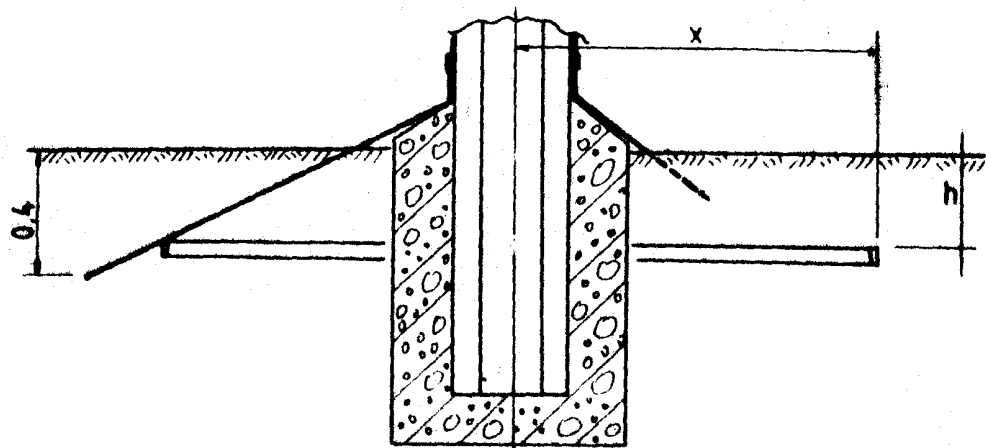


Figura 9



$$x = \frac{a}{2} + 0,8m \quad y = \frac{b}{2} + 0,8m \quad h = 0,25m$$

$$x = y$$

Figura 10

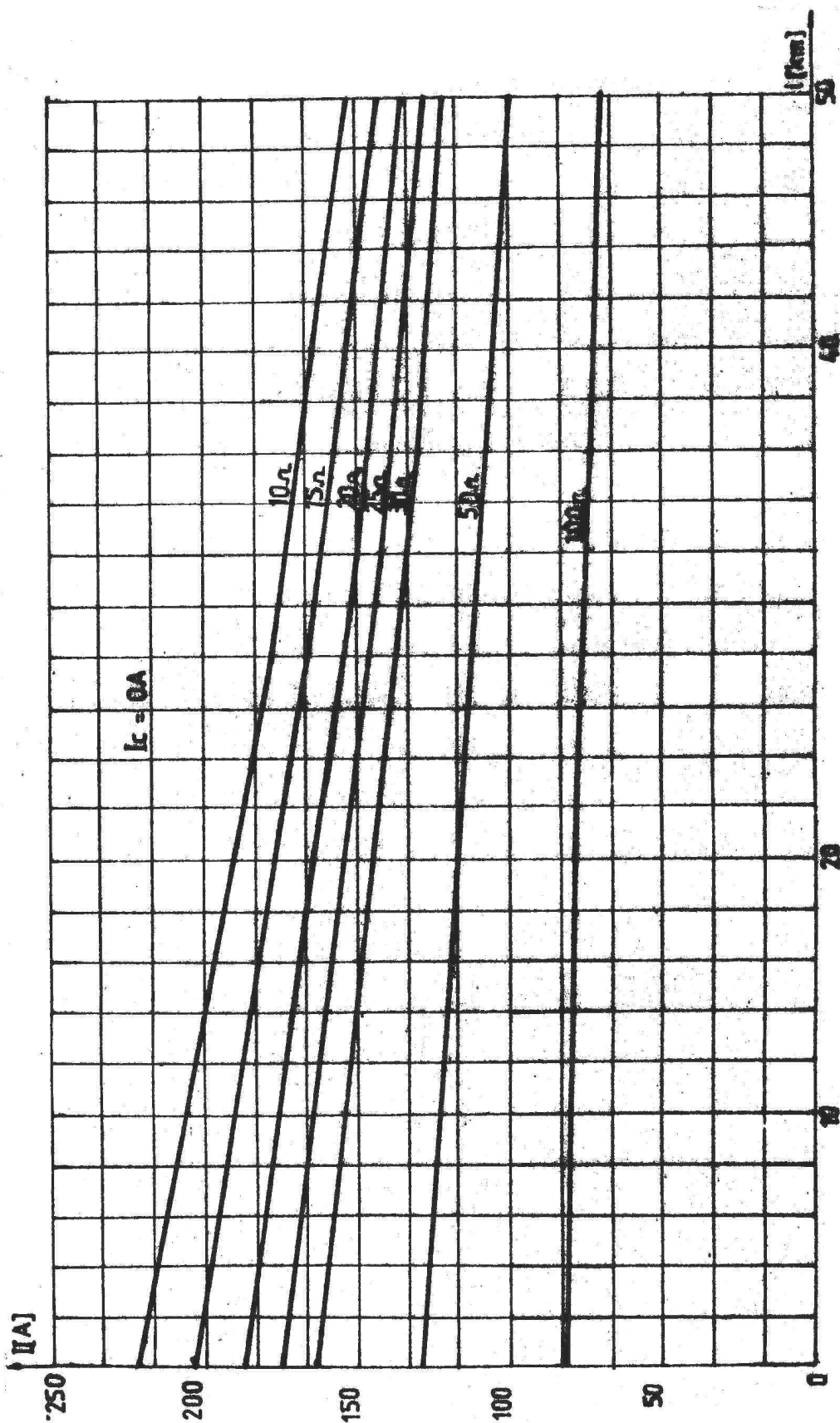


Figura 11

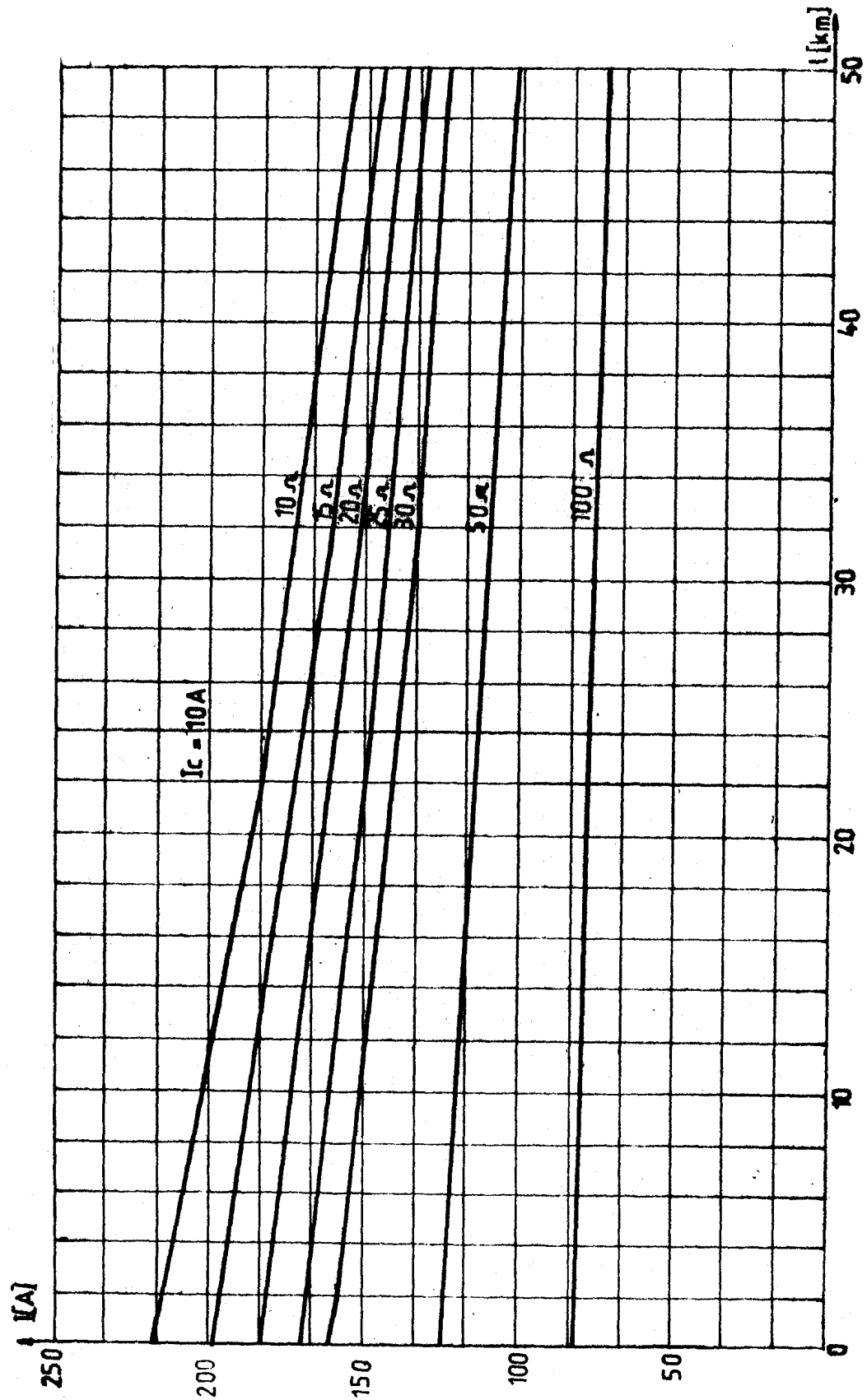


Figura 12

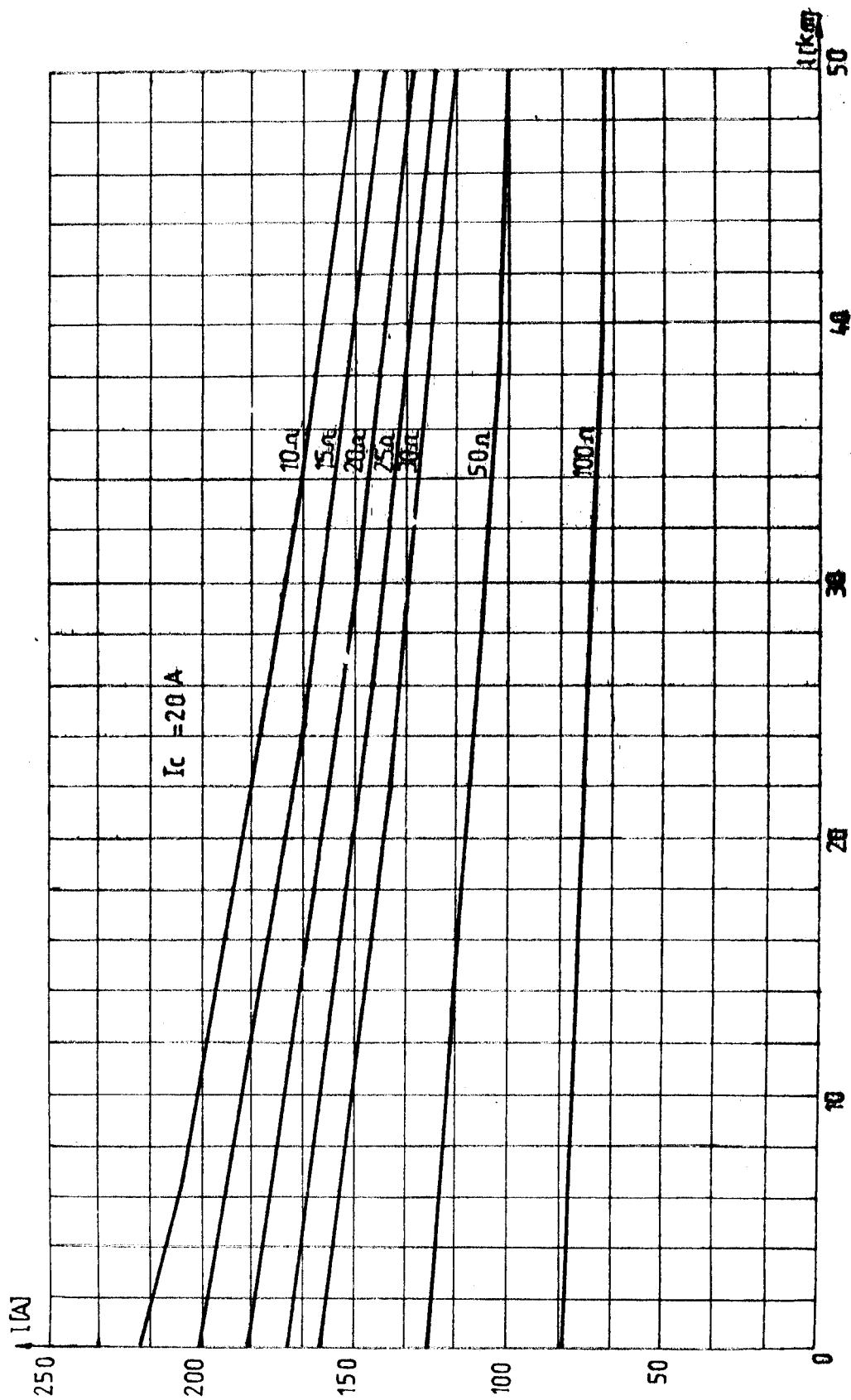


Figura 13

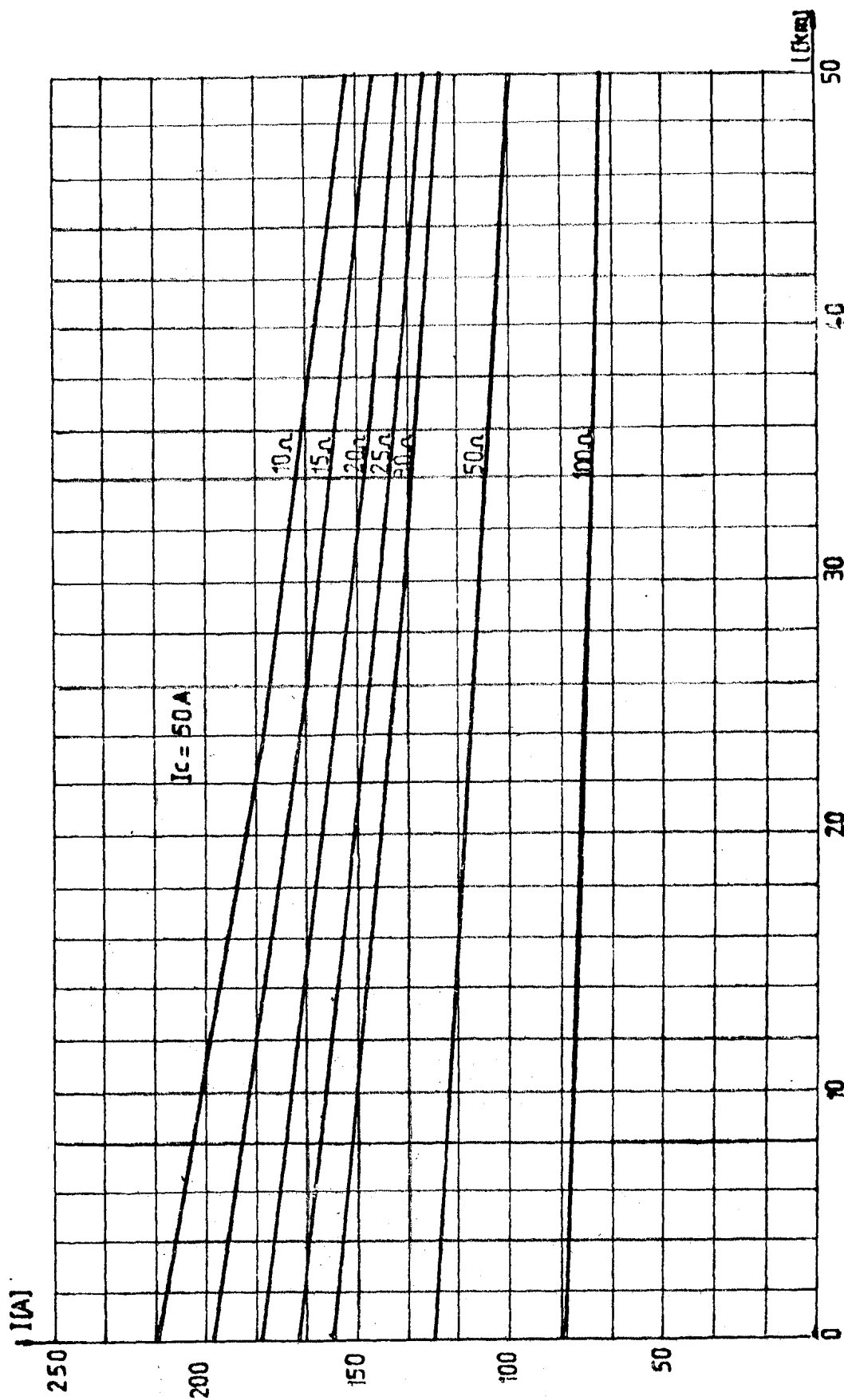


Figura 14

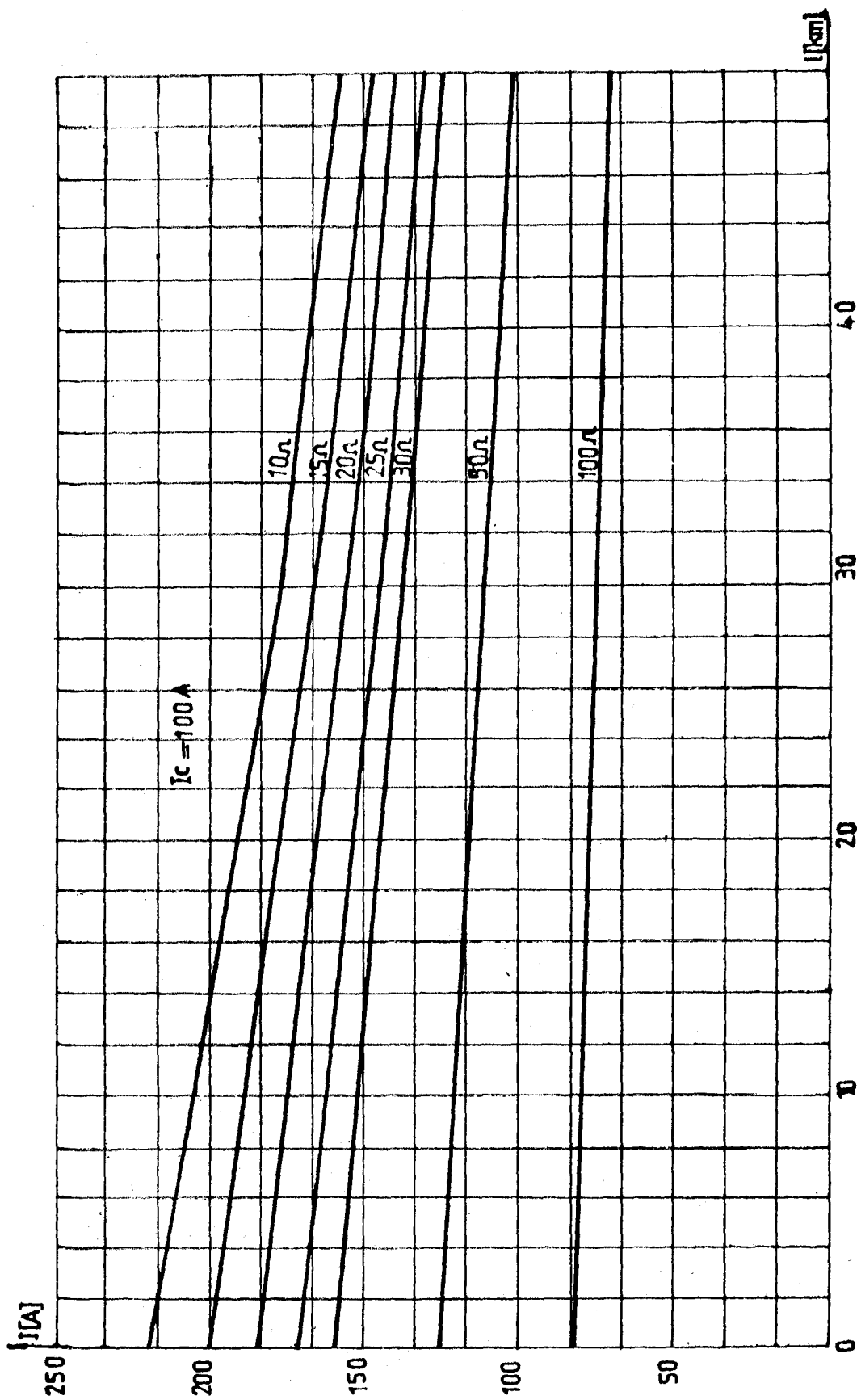


Figura 15

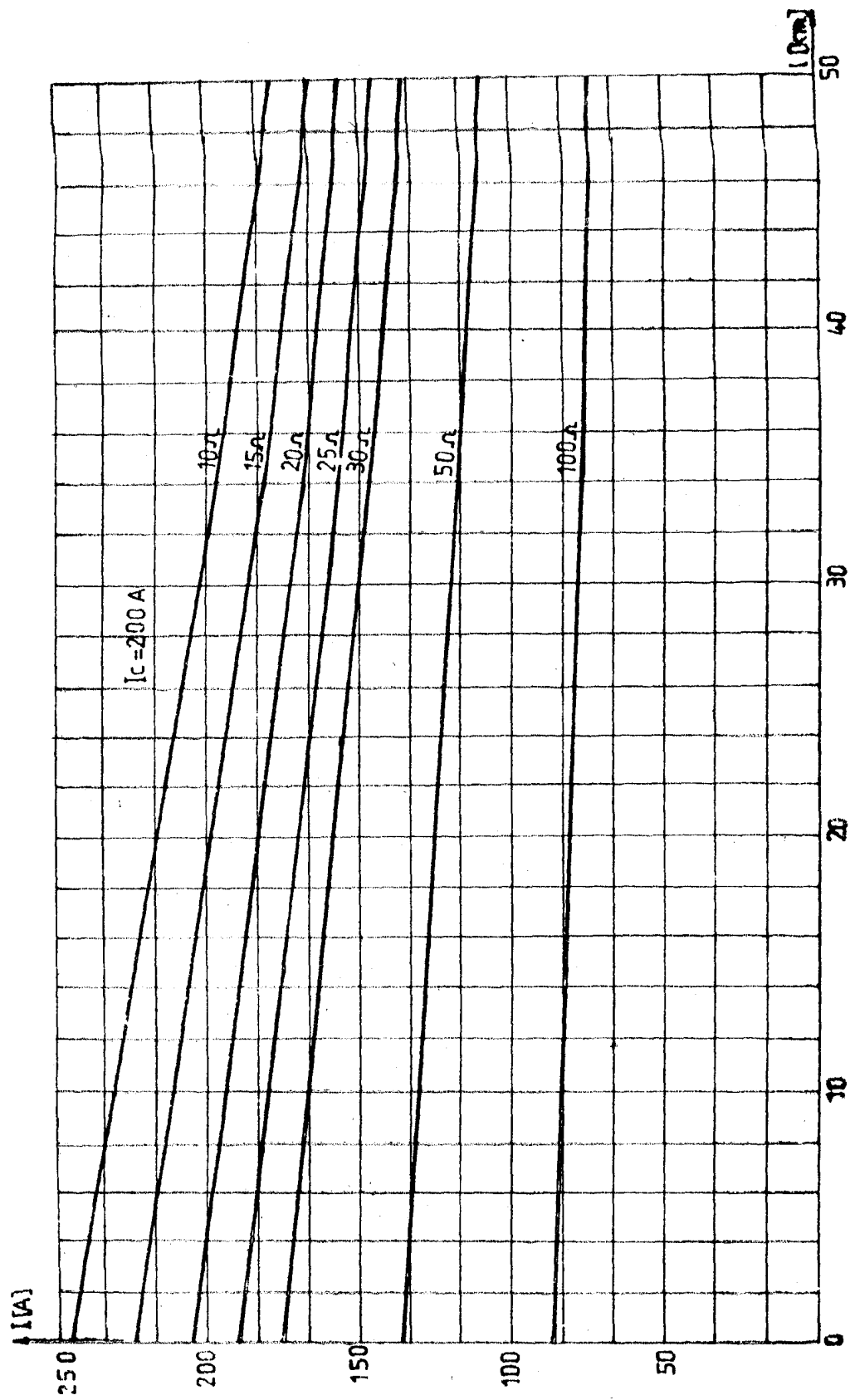


Figura 16

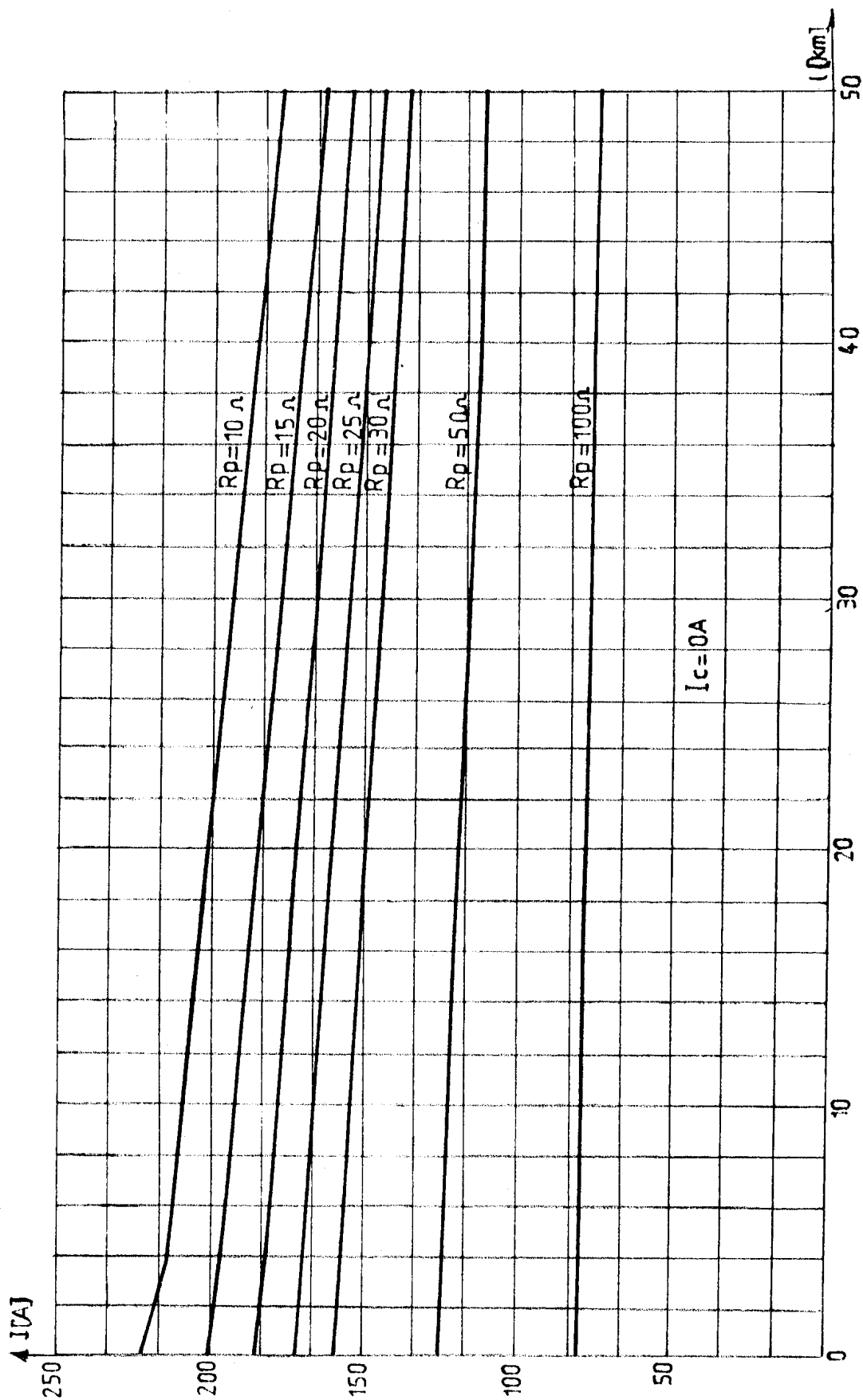


Figura 17

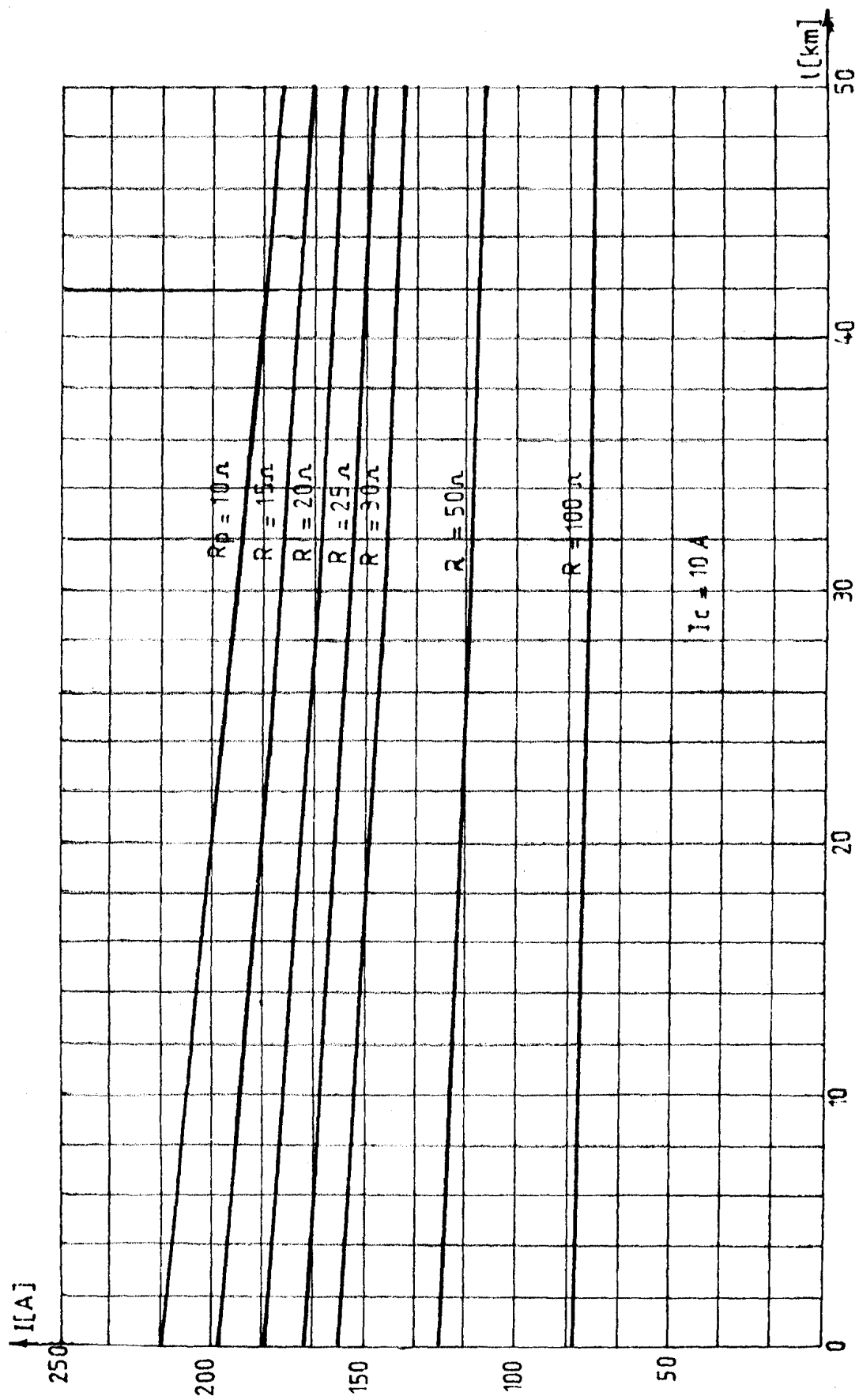


Figura 18

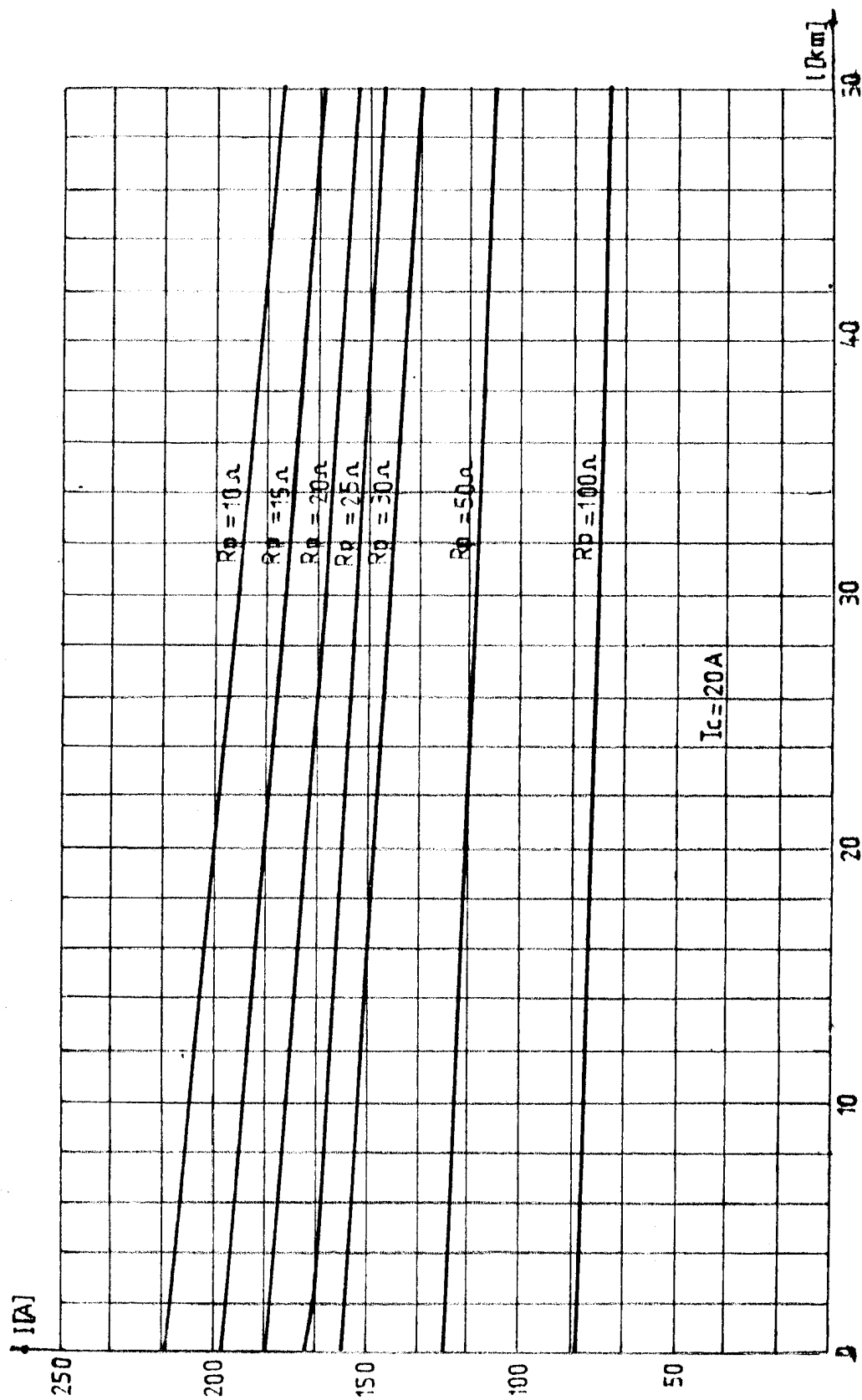


Figura 19

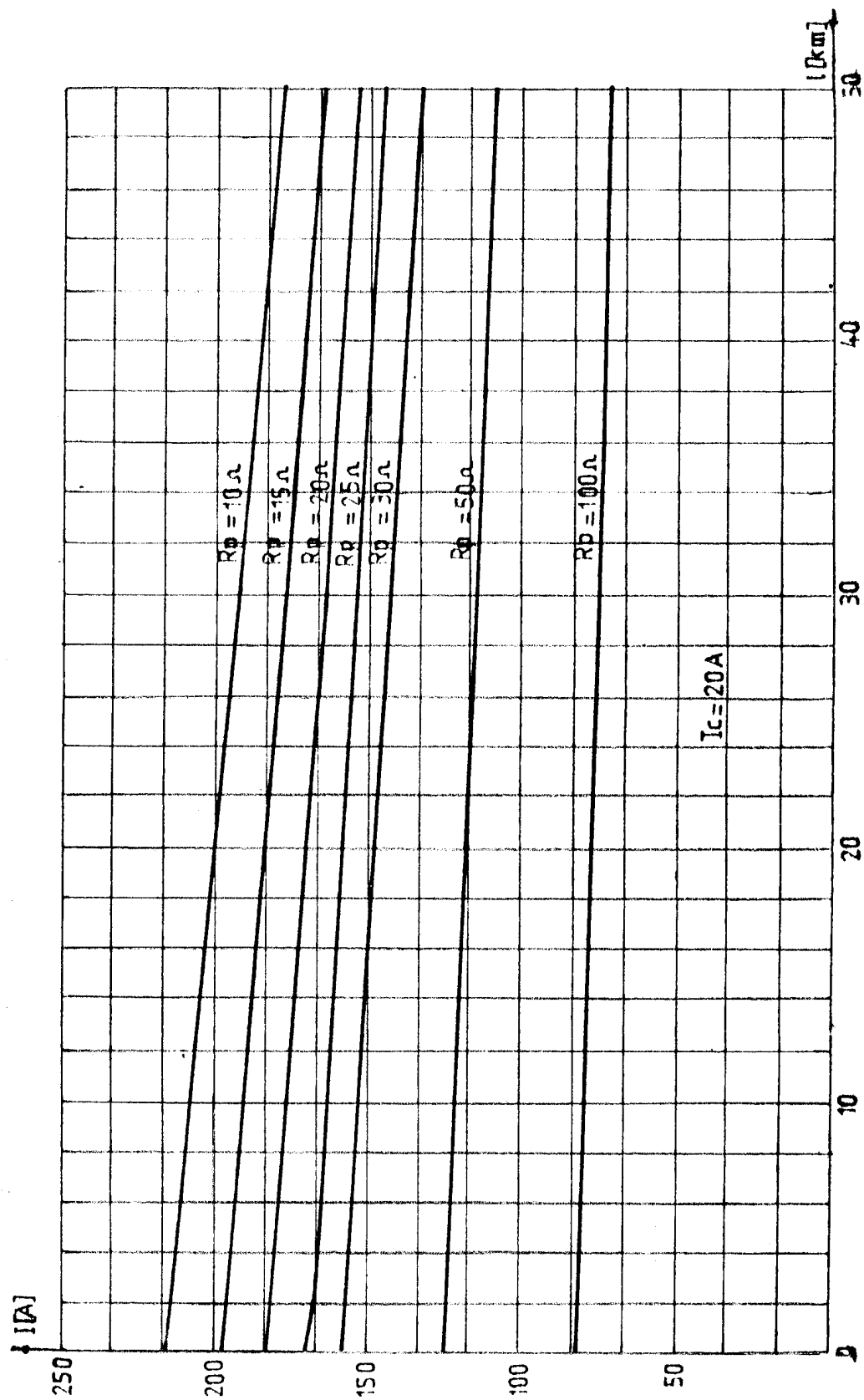


Figura 20

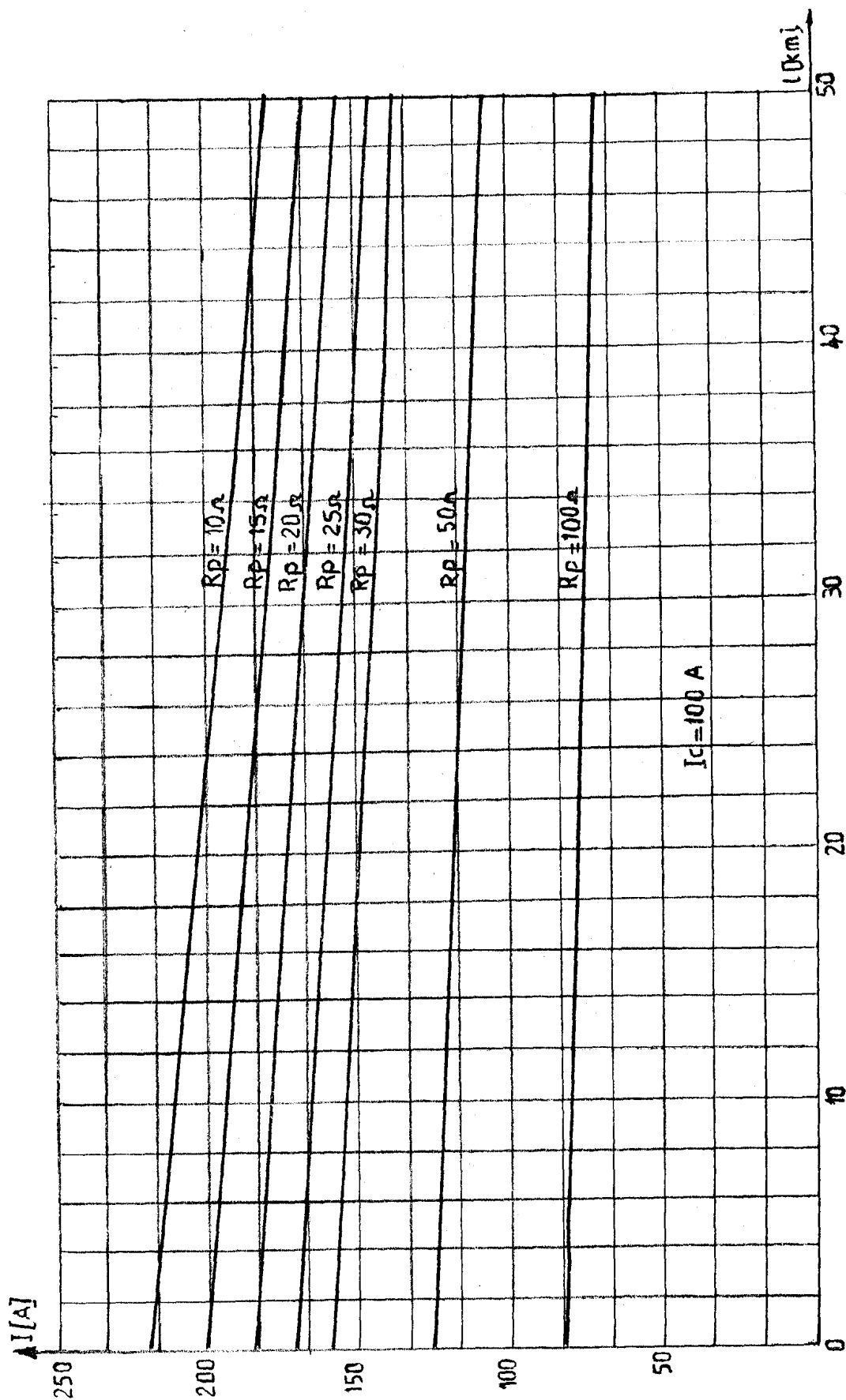


Figura 21

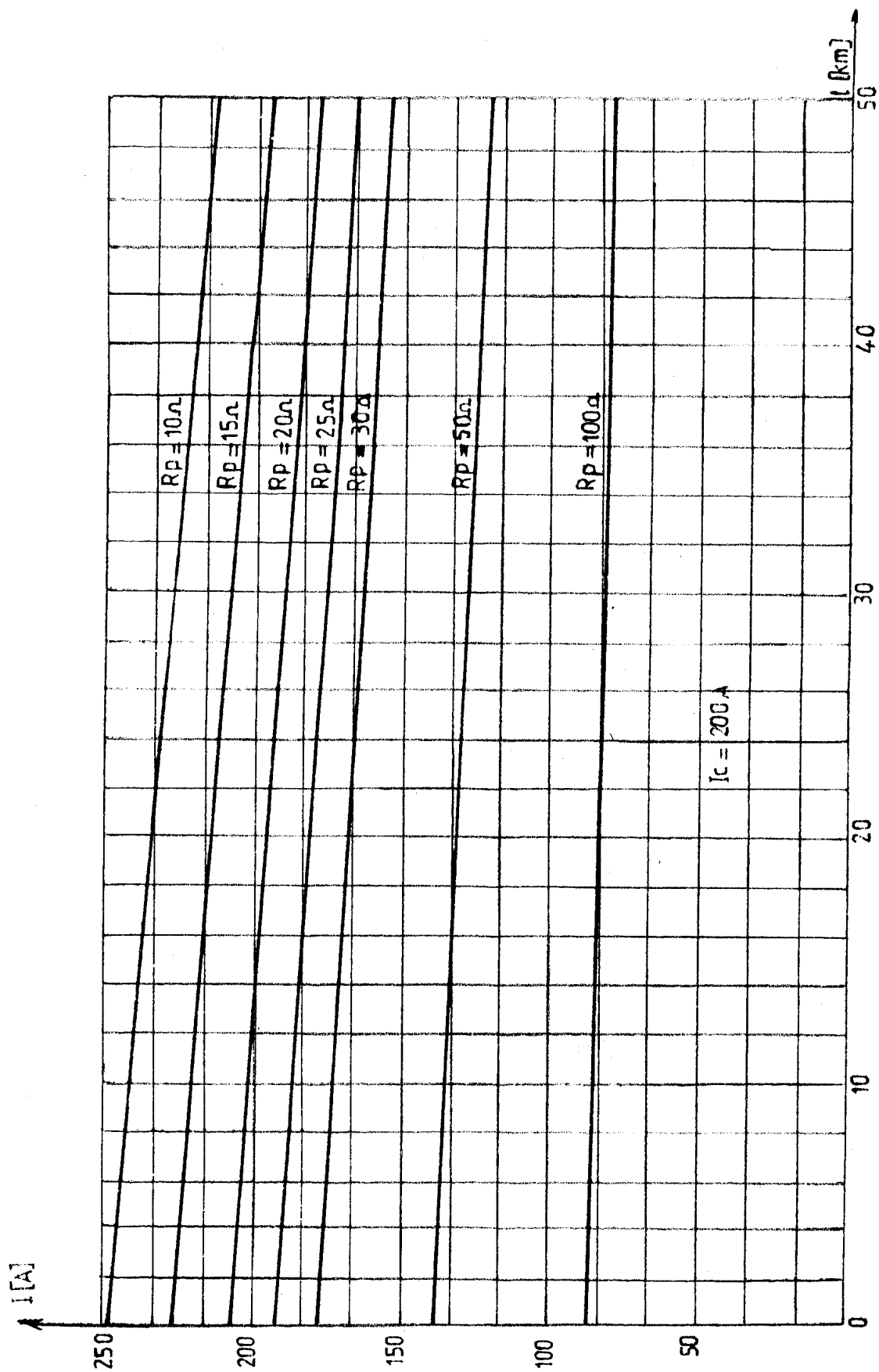


Figura 22

$$R_{ps} \leq \frac{U_a \alpha_a + \beta - 1}{I_p k_a} \quad \text{si} \quad R_{ps} \leq \frac{U_{pas} \alpha_{pas}}{I_p k_{pas}}$$

unde:

U_a este tensiunea de atingere maxima admisa în V; conform celor aratate la subcap.2.3 (tabelul 2.3 si STAS 2612-87);

U_{pas} - tensiunea de pas maxima admisa, în V; conform celor aratate la subcap.2.3 (tabelul 2.3 si STAS 2612-87);

I_p - curentul maxim de punere la pamânt care se poate închide prin priza de pamânt respectiva, în A; în cazul prevederii unui conductor de compensare pe stâlpii LEA, în conditia de determinare a rezistentei de dispersie R_{ps} se va lua $I_p = 0,8 \cdot I_{def}$, I_{def} fiind valoarea curentului de scurtcircuit maxim admis în rețeaua respectiva; s-a considerat $r_c = 0,8$;

α_a si α_{pas} - coeficientii de izolare a amplasamentului fata de pamânt în jurul stâlpului pe o distanta de cel puțin 0,8 m pentru micșorarea tensiunii de atingere si 1,25 m pentru micșorarea tensiunii de pas de la stâlp;

$\alpha_a = 2$ si $\alpha_{pas} = 5$ pentru balast (piatra sparta) de 15 cm grosime;

$\alpha_a = 3$ si $\alpha_{pas} = 9$ pentru dale (strat) de beton;

$\alpha_a = 5$ si $\alpha_{pas} = 17$ pentru asfalt într-o grosime minima de 2 cm ;

β - coeficientul de izolare a betonului la stâlpii de beton armat, prin asimilare cu coeficientul pentru dale (strat) de beton; daca nu se dispune de valori determinate, se va considera $\beta = 3$; coeficientul β se considera în calcule numai pentru cazul stâlpilor de beton armat fara aparataj si numai în cazul tensiunii de atingere.

Pentru rețelele legate la pamânt prin rezistenta ohmica (schema T₂T) (a se vedea 1.RE-I_p 35/2-92).

Exemplul 1: Retea T₂T LEA în zone cu circulatie frecventa din localitati, $t_b \leq 0,2$ s; $I_p = 250$ A la locul defectului, $U_a = U_{pas} = 1100$ V; fara strat izolant de adaos; fara prize de dirijare $k_a = 0,8$ si $k_{pas} = 0,3$; $\rho = 100 \Omega m$, rezulta:

$$R_{ps} \leq 1100 \frac{1,05 + 3 - 1}{0,8 \cdot 250} = 1100 \frac{3,05}{200} = 16,77 \Omega$$

si

$$R_{ps} \leq 1100 \frac{1,2}{0,3 \cdot 250} = 1100 \frac{1,2}{75} = 17,6 \Omega$$

Este necesara, deci o priza de pamânt cu $R_{ps} \leq 16,77 \Omega$

Exemplul 2: Idem, ca la exemplul 1, însa $t_b \leq 0,5$ s pentru care valorile maxime admise $U_a = U_{pas} = 500$ V;

$$R_{ps} \leq 500 \frac{3,05}{200} = 7,63 \Omega \quad \text{si} \quad R_{ps} \leq 500 \frac{1,2}{75} = 8 \Omega$$

Este necesara deci o priza de pamânt cu $R_{ps} \leq 7,63 \Omega$

Exemplul 3: Idem, ca la exemplul 2, însa $\rho = 1000 \Omega m$

$$R_{ps} \leq 500 \frac{1,5 + 3 - 1}{200} = 500 \frac{3,5}{200} = 8,75 \Omega \quad \text{si} \quad R_{ps} \leq 500 \frac{3}{75} = 20 \Omega$$

Exemplul 4: Idem, ca la exemplul 1, însa $\rho = 1000 \Omega m$, respectiv, exemplul 3 cu $t_b \leq 0,2$ s

$$R_{ps} \leq 1100 \frac{3,5}{200} = 19,25 \Omega \quad \text{si} \quad R_{ps} \leq 1100 \frac{3}{75} = 44 \Omega$$

În rețelele legate la pamânt cu un singur sistem de protectie împotriva curentilor de punere la pamânt (schema T₁T), cazul stâlpilor din rețelele 110 ... 750 kV se vor avea în vedere si urmatoarele:

a) Modul de determinare a curentului I_p este prezentat în anexa 7, din prezentul îndreptar.

b) Priza de pamânt a stâlpului trebuie sa fie stabila din punct de vedere termic; în consecinta, prizele dimensionate dupa conditiile de mai sus se vor verifica la stabilitate termica, conform STAS 12604/5-90 si indicatiile din anexa 3, folosindu-se urmatoarea formula:

$$s \geq I_p \sqrt{\frac{\rho \cdot t}{\gamma \cdot \theta}}$$

în valoarea suprafetei S se include si suprafata electrodului constituit din armatura metalica a fundatiei, considerata drept priza de pamânt naturala.

c) În cazul în care la o instalatie satisfacerea conditiilor de stabilitate termica a prizei de pamânt duce la cheltuieli mari, se poate admite depasirea densitatilor de curent maxim admise, numai daca se iau masurile necesare de verificare a bunei stari a prizei de pamânt si a legaturilor la acestea dupa fiecare defect cu punere la pamânt la instalatia respectiva.

d) Atunci când nu se pot realiza cu mijloace economice conditiile de protectie împotriva tensiunilor de atingere si de pas aratate mai sus, se vor monta la stâlpii respectivi din zona cu circulatie frecventa, izolatoare cu nivelul de izolatie cu 10 % mai mare decât în restul liniei.

În acest caz, tensiunile de atingere si de pas nu se normeaza, iar prizele de pamânt ale acestor stâlpi vor trebui sa corespunda conditiilor impuse de protectia împotriva supratensiunilor atmosferice, conform subcap.5.2 din prezenta lucrare si normativ privind alegerea izolatiei, coordonarea izolatiei si protectia instalatiilor electroenergetice împotriva supratensiunilor- NTE 001/03/00.

Conditia pe care trebuie sa o îndeplineasca prizele de pamânt din punctul de vedere al protectiei liniei împotriva supratensiunilor atmosferice se exprima astfel:

$$R_p \leq \frac{U_t}{\alpha_i \cdot I_t}$$

în care:

R_p este rezistenta de dispersie a prizei (Ω);

U_t - tensiunea de tinere la impuls a instalatiei de pe stâlpul la care se verifica priza (kV);

I_t - curentul de calcul la supratensiuni atmosferice, (kA);

α_i - coeficientul de impuls al prizei, conform tabelului din cap.5.

Indiferent de rezultatele calculului, în vederea asigurarii unei cât mai favorabile dirijari a distributiei potentialelor în jurul stâlpului, priza de pamânt a stâlpului se va executa ca tip si forma potrivit indicatiilor din figura 6, în zonele cu circulatie frecventa, respectiv din figura 7, în zonele cu circulatie redusa.

Pentru a se putea pune în valoare prizele naturale ale stâlpilor fixati în teren prin fundatii de beton armat, barele principale (verticale) ale armaturii fundatiei vor fi legate galvanic în partea superioara atât între ele, cât si la piciorul metalic al stâlpului încadrat în fundatie.

La toti stâlpii metalici si de beton armat ai liniilor sau ai portiunilor de linii echipate cu conductoare de protectie, se va realiza legarea conductoarelor de protectie la prizele de pamânt ale stâlpilor respectivi.

Conductoarele de legare la priza de pamânt a stâlpilor trebuie sa fie dimensionate pentru a fi stabile din punct de vedere termic; conditia de verificare este:

$$s \geq \frac{i_p \cdot \sqrt{t}}{j}$$

unde:

s este sectiunea conductorului de ramificatie;

i_p - partea din curentul total de punere la pamânt I_p , care trece prin priza stâlpului respectiv;

t - timpul protectiei de rezerva prevazuta pentru deconectarea punerilor la pamânt monofazate;

j - densitatea de curent admisibila prin conductorul respectiv; la otel se va considera $j = 70 \text{ A/mm}^2$.

În cazul în care nu se pot îndeplini cu solutii economice conditiile impuse de protectia împotriva supratensiunilor atmosferice, prizele de pamânt ale stâlpilor se vor realiza astfel încât sa se obtina pentru rezistenta de dispersie cel putin valorile din tabelul 6 de la pct.5.2.2.

În incintele (teritoriile) îngradite ale întreprinderilor industriale si agricole cu circulatie frecventa, precum si în cazul plajelor si terenurilor de campament (camping), stâlpii liniilor electrice aeriene vor fi prevazuti întotdeauna cu prize de pamânt, conform indicatiilor de la pct. 4.1.5.1. Se

precizeaza ca în cazul incintelor industriale, instalatiile de legare la pamânt vor fi astfel dimensionate încât tensiunile de atingere si de pas sa fie mai mici sau cel mult egale cu 125 V, în cazul retelelor T si T₁T si 250 V în cazul retelelor T₂T (a se vedea tabelul 2.3 pct. 2.d), indiferent de timpul de întrerupere a curentului de punere la pamânt considerat. La stâlpii în cauza se recomanda folosirea izolatoarelor nestrapungibile. Pentru respectarea acestor conditii, se va proceda ca la pct. 4.1.5.1. si 4.1.5.2 (relatiile de calcul), folosindu-se în calcule valoarea indicata mai sus de 125 V, respectiv 250 V.

Daca valoarea de 125 V în cazul retelelor T₁T nu poate fi obtinuta în conditii economice, se vor folosi izolatoare nestrapungibile la stâlpii respectivi, iar prizele de pamânt de la acesti stâlpi se vor realiza corespunzator indicatiilor din figura 6. În plus, totdeauna va fi prevazut un strat de balast (piatra sfarâmata de 15 - 20 cm) sau asfalt pe suprafata ocupata de priza. Prizele, dimensionate dupa conditia de mai sus, se vor verifica din punctul de vedere al protectiei împotriva supratensiunilor atmosferice, conform cap. 5 si din punctul de vedere al stabilitatii termice, conform anexei 3 din prezenta lucrare.

Pentru realizarea constructiva si receptia prizelor de pamânt se va respecta STAS 12604/5-90.

Pentru legaturile conductoarelor de protectie si pentru prizele de pamânt la stâlpi, vor fi respectate indicatiile de la pct. 4.1.5.1 si 4.1.5.2 din prezentul îndreptar.

În incintele industriale si agricole cu circulatie frecventa este necesar sa se realizeze o retea generala de legare la pamânt prin legarea între ele a tuturor prizelor de pamânt din incinta, inclusiv a celor de la stalpii LEA de j.t. si de î.t. În acest caz rezistenta de dispersie rezultanta este calculata conform cu prevederile pct. 4.1.4.6 din prezentul îndreptar.

Exemplul 5: Reteaua T₂T cu LEA de 20 kV, prize separate la fiecare stâlp; I_p = 250 A; la locul defectului se prevede câte o priza de dirijare la fiecare stâlp cu k_a = 0,5 si k_{pas} = 0,2 fara adaugarea de strat izolant si α_a = α_{pas} = 1, rezulta necesar la fiecare stâlp:

$$R_{ps} \leq 250 \frac{\alpha_a + \beta - 1}{k_a \cdot I_p} = 250 \frac{3}{0,5 \cdot 250} = 6 \Omega$$

$$R_{ps} \leq 250 \frac{\alpha_{pas}}{k_{pas} \cdot I_p} = 250 \frac{1}{0,2 \cdot 250} = 5 \Omega$$

rezulta: R_{ps} ≤ 5 Ω la fiecare stâlp.

Exemplul 6: Idem, dar toti stâlpii se leaga la reseaua generala de legare la pamânt din incinta rezistenta de dispersie rezultanta R_{pn} cu conditiile r_k = 1; r_e = 0,8; r_i = 1; r_c = 1.

$$R_{pn} = 250 \frac{1}{0,8 \cdot 250} = 1,25 \Omega$$

De regula, în incinta trebuie sa se realizeze o retea generala de legare la pamânt cu R_{pv} ≤ 1 Ω pentru folosirea în comun si pentru instalatiile de protectie împotriva descarcarilor atmosferice.

4.1.5.3. Stâlpi LEA cu aparataj

a) Stâlpii cu aparataj din localitati si din incintele industriale si agricole cu circulatie frecventa, plaje si terenuri de camping.

La stâlpii din localitati sunt valabile toate rationamentele si solutiile indicate pentru stâlpii fara aparataj din zonele cu o circulatie frecventa din localitati, (a se vedea pct. 4.1.5.2 de mai sus), conditia generala de dimensionare fiind:

$$R_{ps} \cdot I_p \frac{\alpha_a}{k_a} \leq U_a \quad \text{si} \quad R_{ps} \cdot I_p \frac{\alpha_{pas}}{k_{pas}} \leq U_{pas}$$

unde:

U_a si U_{pas} se determina conform STAS 2612-87 si tabelul 2.3 din prezentul îndreptar, cu observatia ca la acesti stâlpi nu se considera coeficientul β, deoarece exista pe stâlpi elemente metalice legate la pamânt care pot fi atinse de persoane.

Pentru stâlpii cu aparataj din incintele industriale si agricole cu circulatie frecventa, plaje si terenuri de camping sunt valabile, de asemenea toate rationamentele si solutiile de la pct. 4.1.5.2 privind stâlpii fara aparataj, conditia de dimensionare fiind aceeasi si anume indiferent de timpul

de declansare la curenul maxim de punere la pamânt, trebuie sa se asigure respectarea limitelor maxime pentru tensiunile de atingere si de pas corespunzatoare acestor stâlpi, cu observatia ca nu se ia în calcule coeficientul β care în acest caz este egal cu 1.

Conditia speciala privind stâlpii cu aparataj este ca întotdeauna si la orice lucrare, când LEA se afla sub tensiune (controale, manevre), sa se foloseasca mijloace individuale de protectie izolante (manusi si cizme electroizolante), conform STAS 12604/5-90.

În localitati, daca se prevede un conductor de compensare, stâlpii cu aparataj se vor racorda împreuna cu ceilalti stâlpi (fara aparataj) la acest conductor în vederea reducerii curenului I_p prin prizele de pamânt ($I_p = 0,8 I_{def}$) si pentru obtinerea unei rezistente de dispersie echivalente reduse R_{ps} pentru toti stâlpii.

În incintele îngradite, de regula, se vor racorda la retea generala de legare la pamânt a incintei si stâlpii cu aparate, dupa cum s-a aratat si la cazul stâlpilor fara aparataj de la pct.4.1.5.2. de mai sus.

b) Stâlpii cu aparataj din afara localitatilor (indiferent de zona), inclusiv zona (incintele) agricole cu circulatie redusa.

În cazul unui stâlp cu aparataj din afara localitatii (indiferent de zona), inclusiv zona (incintele) agricole cu circulatie redusa, tensiunile de atingere si de pas maxime admise sunt cele din STAS 2612-87 tabelul 6 pct.3 (a) si tabelul 2.3 din prezentul îndreptar, în functie de timpul de declansare la intensitatea maxima a curenului de punere la pamânt la stâlpul respectiv si la categoria retelei.

Conditii de dimensionare si solutiile de rezolvare indicate pentru stâlpii LEA fara aparataj din localitati din prezentul îndreptar se pot aplica si în cazul stâlpilor cu aparataj din sfera localitatilor, cu exceptia solutiei de legare între ele a doua sau mai multor prize de pamânt de la stâlpii învecinati. Trebuie avut în vedere ca la stâlpii învecinati care în marea lor majoritate sunt fara aparataj, nu se impune nici o conditie de asigurare a unor prize de pamânt din considerentele de obtinere a unor tensiuni de atingere si de pas sub anumite limite. Deci, practic este necesar ca la fiecare stâlp cu aparataj sa se realizeze o priza de pamânt care sa îndeplineasca conditiile:

$$R_{ps} \cdot I_p \frac{\alpha_a}{k_a} \leq U_a \quad \text{si} \quad R_{ps} \cdot I_p \frac{\alpha_{pas}}{k_{pas}} \leq U_{pas}$$

Posibilitatea de a se mica costul prizelor de pamânt consta în reducerea timpului de actionare a protectiei de baza, astfel încât sa se declanseze linia respectiva într-un timp cât mai scurt posibil. Astfel, daca acest timp este $t_b \leq 1,2$ s, în cazul retelelor IT tensiunea de atingere si de pas maxima admisa este $U_a = 125$ V, în cazul retelelor T₁T este 250 V, iar în cazul retelelor T₂T este 500 V.

În acest mod se cade pe conditia de realizare a prizelor de pamânt la stâlpii din localitati, cu observatia, din nou, ca nu se poate aplica solutia indicata pentru acele cazuri de legare între ele a doua sau mai multe prize de la stâlpii învecinati, decât doar daca pe toti stâlpii se monteaza un conductor de compensare pentru reducerea rezistentei de dispersie rezultante la postul de transformare alimentat pe linia respectiva. În acest caz, în conditiile de mai sus se ia $I_p = 0,8 I_{def}$.

În conformitate cu îndrumarul 1RE-I_p 35/2-92, la stâlpii cu aparataj din afara localitatilor, conditiile de dimensionare a rezistentei de dispersie R_{ps} se reduc la conditia:

$$R_{ps} \leq 4 \Omega,$$

fara a mai fi necesara verificarea tensiunilor de atingere si de pas, daca la manevrarea dispozitivelor de actionare de pe stâlpii respectivi, manetele acestora se acopera cu un material izolant corespunzator unei tensiuni de lucru cel putin egala cu valoarea:

$$U_1 = R_{ps} \cdot I_p \cdot k_a, \text{ însa nu mai putin de } 1000 \text{ V, respectiv tensiunea de încercare de } 2500 \text{ V.}$$

La astfel de stâlpi, oricare alte lucrari decât executarea manevrelor trebuie efectuate cu scoaterea de sub tensiune. Curentul I_p se determina în functie de lungimea retelei pâna la locul defectului si rezistenta prizei de pamânt R_p panâ la locul defectului.

4.1.5.4. Determinarea curenului I_{def} de calcul în cazul retelelor legate la pamânt prin rezistenta (simbol T₂T).

În cazul retelelor legate la pamânt prin rezistenta (T₂T) curentul I_{def} de calcul trebuie determinat tinând seama de urmatoarele impedante:

- rezistenta electrica a rezistorului de pe neutrul retelei R_n ;
- rezistenta de dispersie a prizei de pamânt la locul defectului R_p ;
- impedanta conductorului retelei pâna la locul defectului;

- reactanta capacitiva a rețelei care determina componenta capacitiva a curentului de defect I_{def} ;
 - reactanta inductiva a curentului de defect datorita înfășurărilor cu ajutorul carora s-a obtinut neutrul rețelei (a transformatorului TSP sau bobinei de neutru BPN) si care determina componenta inductiva a curentului de defect I_{def} .

Orientativ, în curbele din figurile 11... 22 se prezinta curentul de defect, în functie de curentul capacitiv total al rețelei I_c , rezistenta de dispersie la locul defectului si modul de realizare a neutrului care se leaga la rezistor R_n (la BPN sau la TSP).

Exemplul 7: Curentul capacitiv total al rețelei este $I_c = 50$ A, lungimea pâna la locul defectului este $l = 20$ km, rezistorul este de 300 A ($R_n \cong 38 \text{ } \Omega$), stâlp în zona cu circulatie frecventa din localitati, fara priza de dirijarea distributiei potentialelor $k_a = 0,8$ si $k_{pas} = 0,3$, fara adaos de strat izolant, $t_b \leq 0,2$ s, priza de pamânt de $\cong 30 \text{ } \Omega$ pentru $\rho = 100 \text{ } \Omega\text{m}$, iar curentul I_{def} de calcul: $I_{def} = 141,7$ A. Rezulta conditiile:

$$R_{ps} \leq 1100 \frac{3,05}{0,8 \times 141,7} \cong 29 \text{ } \Omega \quad \text{si} \quad R_{ps} \leq 1100 \frac{1,2}{0,3 \times 141,7} \cong 30 \text{ } \Omega$$

Deci, priza trebuie sa fie cel mult $29 \text{ } \Omega$.

În cazul în care priza are $R_{ps} = 20 \text{ } \Omega$, rezulta $I_{def} \cong 160$ A si conditia devine:

$$R_{ps} \leq 1100 \frac{3,05}{0,8 \times 160} \cong 26 \text{ } \Omega$$

În conformitate cu pct. 4.1.5.1 de mai sus, totdeauna trebuie îndeplinita conditia $I_{def} \geq 2 I_r$; trebuie sa se verifice si conditia de declansare prin protectia respectiva, si anume:

$$I_{def} \geq 2 I_r ; I_r \text{ este curentul minim la care functioneaza protectia.}$$

4.2. Rețelele izolate fata de pamânt (IT)

4.2.1. Conditii generale

4.2.1.1. În cazul rețelelor fata de pamânt (simbol IT), dimensionarea instalatiei de legare la pamânt se va efectua cu respectarea conditiilor de calcul din STAS 12604/4-89 si anexele aceluiasi standard. În vederea calculelor, pentru fiecare caz în parte se vor stabili tensiunile de atingere si de pas maxime admise, curentii si timpii, corespunzator indicatiilor din standardul 12604/4-89, în functie de categoria instalatiei si a sistemului de protectie adoptat pentru semnalizarea si deconectarea în cazul punerilor la pamânt (a se vedea STAS 2612-87 si tabelul 2.3 din prezentul îndreptar).

4.2.1.2. De regula, pentru determinarea sectiunii conductoarelor de legare la pamânt, în calcul se va considera curentul I_b egal cu intensitatea curentului maxim de punere la pamânt la timpul protectie respective.

4.2.2. Statii de conexiuni si transformare

4.2.2.1. Conventional, se considera în aceasta categorie statiile de medie tensiune din care nu se alimenteaza cu energie electrica consumatorii de $0,4$ kV aflati în afara incintei respective.

Metodele de respectare a limitelor admise ale tensiunilor de atingere si de pas sunt indicate în prezentul îndreptar si anume la subcap. 4.1.2 pentru instalatiile exterioare si la subcap. 4.1.3 pentru instalatiile interioare.

În toate cazurile, la calculul tensiunilor de atingere si de pas se va considera curentul de punere simpla la pamânt timp nelimitat ($t > 3s$) sau timpul protectiei daca se prevede deconectarea automata, în cazul unei puneri simple la pamânt.

4.2.2.2. Daca statia face parte dintr-o retea construita în întregime din cabluri cu învelis exterior metalic continuu sau dintr-o retea de cabluri ale caror lungimi reprezinta cel puțin 66% din totalul rețelei respective, dar nu mai puțin de 10 km, curentul considerat în calcule I_b trebuie sa fie egal cu intensitatea curentului de punere la pamânt sau în cazul compensarii, cu cea a curentului rezidual, însa cel puțin 10 A.

În statiile în care sunt montate bobinele de compensare, curentul considerat în calcule, I_b va fi egal cu suma curentilor bobinelor montate în statia respectiva.

Pentru respectarea condițiilor de stabilitate termică, rezistența instalației de legare la pământ R_p se va determina din relația:

$$R_p \leq \frac{12\sqrt{\rho}}{I_p}$$

în care:

I_p are valoarea indicată mai sus, privind curentul de punere simplă la pământ.

Pentru respectarea limitelor tensiunilor de atingere și de pas, se va considera ca valoarea maximă admisă $U_a = U_{pas} = 125$ V în zonele cu circulație redusă și $U_a = U_{pas} = 50$ V în zonele cu circulație frecventă^{*)}. Trebuie să se satisfacă condiția:

$$\frac{k_a \cdot R_p}{\alpha_a} \leq \frac{U_a}{I_p} ; \quad \frac{k_{pas} \cdot R_p}{\alpha_{pas}} \leq \frac{U_{pas}}{I_p}$$

unde:

I_p are valoarea indicată mai sus privind curentul de punere la pământ.

*) Dacă stația se află în afara incintelor agricole sau industriale, în ambele cazuri se ia $U_a = U_{pas} = 50$ V.

4.2.2.3. Dacă stația face parte dintr-o rețea constituită din linii aeriene sau cabluri fără înveliș exterior metalic sau dintr-o rețea de cabluri cu învelișuri metalice care nu îndeplinesc condițiile de la pct. 4.2.2.2, în calculele privind limitarea tensiunilor de atingere și de pas, se va putea considera un curent I_p egal cu intensitatea curentului de punere simplă la pământ sau în cazul compensării, cu cea a curentului rezidual, însă cel puțin 10 A.

Instalația de legare la pământ se va realiza în așa fel, încât să îndeplinească condițiile:

$$\frac{R_p \cdot k_a}{\alpha_a} \leq \frac{U_a}{I_p} \quad \text{și} \quad \frac{R_p \cdot k_{pas}}{\alpha_{pas}} \leq \frac{U_{pas}}{I_p}$$

unde U_a și U_{pas} sunt valorile indicate mai sus la 4.2.2.2, în funcție de categoria instalației și timpul protecției.

Pentru satisfacerea condițiilor de stabilitate termică a prizelor de pământ (din care rezultă valoarea rezistenței de dispersie a instalației de legare la pământ), se vor efectua verificări pentru următoarele trei condiții:

$$R_p \leq \frac{12\sqrt{\rho}}{I_p} \quad (1)$$

$$R_p \leq \frac{125}{I_{rm}} \cdot \sqrt{\frac{t}{t}} \quad (2)$$

$$S \geq I_{dpm} \cdot \sqrt{\frac{\rho \cdot t}{\gamma \cdot \theta}} \quad (3)$$

unde:

I_p este curentul de punere simplă la pământ sau curentul rezidual determinat ca la pct. 3.2.2.2, dar nu mai puțin de 10 A;

I_{rm} - curentul minim prin priză, la care acționează protecția prevăzută pentru deconectarea automată în cazul unei puneri duble la pământ;

I_{dpm} - curentul maxim de punere dublă la pământ, considerând o rezistență de trecere la pământ de calcul de 4 Ω , iar "t" este timpul de deconectare la acest curent.

În condiția (2) "t" este timpul considerat pentru înlăturarea punerilor simple la pământ, iar "t" este timpul indicat în STAS 12604/4-89 și anexa 3 din prezenta lucrare, în funcție de rezistivitatea ρ a solului și de categoria prizelor singulare (verticale sau orizontale) care au pondere în determinarea rezistenței de dispersie respective. Celelalte notații sunt explicate în anexa 3.

În condiția (3) "t" este timpul protecției de rezervă.

Dacă condiția (2) nu se verifică în cazul punerilor la pământ, nedeconectabile prin protecție, se vor verifica instalațiile de legare la pământ respective (integritatea legăturilor rezistentelor de dispersie și tensiunile de pas și de atingere) de către unitățile de exploatare a instalațiilor (echipamentelor) la care au avut loc punerile la pământ (după orice punere dublă la pământ nedeconectată prin protecție).

În cazul în care se prevad protectii pentru deconectarea automata a punerilor simple la pamânt, în calcule se va considera un curent I_p egal cu intensitatea curentului de punere simpla la pamânt, iar în cazul compensarii retelei se ia cea a curentului rezidual, însa cel puțin 10 A.

În statiile în care sunt montate bobinele de compensare, curentul considerat va fi I_p egal cu suma curentilor bobinelor.

Pentru respectarea conditiilor de stabilitate termica, rezistenta instalatiei de legare la pamânt R_p se va determina prin relatia:

$$R_p \leq \frac{12\sqrt{\rho}}{I_p}$$

unde:

I_p are valorile indicate în prezentul subcapitol, iar ρ este rezistivitatea medie (echivalenta) a solului.

Pentru respectarea limitelor tensiunilor de atingere si de pas, se va considera ca valoarea minima admisibila $U_a = U_{pas} = 125$ V în zonele cu circulatie redusa si $U_a = U_{pas} = 50$ V în zonele cu circulatie frecventa.

4.2.3. Posturi de transformare

4.2.3.1. Daca postul de transformare este racordat (pe partea tensiunii superioare) la o retea constituita în întregime din cabluri cu învelis exterior metalic continuu sau dintr-o retea de cabluri a caror lungime reprezinta cel puțin 66% din totalul retelei, dar nu mai puțin de 10 km, curentul considerat în calcule I_p va fi egal cu intensitatea curentului de punere simpla la pamânt sau în cazul compensarii cu cea a curentului rezidual, însa cel puțin 10 A.

Pentru respectarea conditiilor de stabilitate termica, rezistenta instalatiei de legare la pamânt R_p se va determina din relatia:

$$R_p \leq \frac{12\sqrt{\rho}}{I_p}$$

unde:

I_p are valoarea indicata mai sus.

Indiferent de rezultatul calculului, rezistenta R_p va fi cel mult egala cu 4Ω .

Pentru respectarea limitelor tensiunilor de atingere si de pas, se va considera ca valoarea minima admisibila $U_a = U_{pas} = 125$ V în zonele cu circulatie redusa si $U_a = U_{pas} = 50$ V în zonele cu circulatie frecventa.

Trebuie sa se satisfaca conditia:

$$\frac{k_a \cdot R_p}{\alpha_a} \leq \frac{U_a}{I_p} ; \quad \frac{k_{pas} \cdot R_p}{\alpha_{pas}} \leq \frac{U_{pas}}{I_p}$$

unde:

I_p are valoarea indicata mai sus în prezentul punct.

Daca potentialul instalatiei de legare la pamânt este $U_b = 125$ V, în cazul zonelor cu circulatie redusa, conditia privind tensiunile de atingere si de pas este satisfacuta chiar pentru $k_a = k_{pas} = 1$. În zonele cu circulatie frecventa rezulta ca necesar $k_a = k_{pas} = 0,333$.

În cazul posturilor de transformare zidite sau în cabine metalice, conditia $k_a = k_{pas} = 0,333$ se considera satisfacuta daca se prevad, în afara de priza de pamânt artificiala, înca doua prize orizontale de dirijare în jurul postului; primul contur la 0,3 m de fundatie si la o adâncime de 0,2 ... 0,3 m fata de suprafata solului, iar al doilea contur va fi la 0,8 m de fundatie si la o adâncime de 0,4 - 0,8. Se va folosi otel lat sau otel rotund cu sectiunile si grosimile minime indicate în STAS 12604/5-90.

Înainte de darea în exploatare se vor verifica prin masurari coeficientii de atingere si de pas obtinuti, în special în cazul zonelor cu circulatie frecventa. În caz de depasire a valorilor scontate se vor adauga prize de dirijare orizontale, dupa caz.

4.2.3.2. În cazul posturilor de transformare racordate (pe partea tensiunii superioare) la retelele constituite din linii aeriene sau cabluri fara învelis metalic care nu îndeplinesc conditiile de la pct. 4.2.3.1, se disting doua situatii diferite:

a) posturi de transformare la care se foloseste în comun instalatia de legare la pamânt atât pentru partea de înalta tensiune, cât si pentru partea de joasa tensiune;

b) posturi de transformare la care se realizeaza separarea pentru instalatia de legare la pamânt de pe partea de joasa tensiune fata de cea de pe partea de înalta tensiune.

În cazul "a" se va realiza totdeauna o priza de pamânt artificiala, a carei rezistenta va fi de cel mult 10 Ω; totodata, trebuie sa se îndeplineasca conditia ca rezistenta de dispersie rezultanta a sistemului constituit din conductorul de nul (de pe partea de joasa tensiune) si prizele de pamânt legate cu acestea sa fie în orice conditii mai mica de 4 Ω.

Rezistenta de dispersie a instalatiei de legare la pamânt R_p rezultata si din contributia prizelor de pamânt naturale de care se dispune, precum si a celor la care se leaga conductorul de nul (de pe partea de joasa tensiune), trebuie sa satisfaca relatia:

$$R_p \leq \frac{U_a}{I_p}$$

în care:

I_p este curentul de punere simpla la pamânt, iar în cazul compensarii, curentul rezidual, însa nu mai mic de 10 A;

$$U_a = 50 \text{ V.}$$

La statiile în care sunt montate bobinele de compensare, curentul considerat în calcule I_p va fi egal cu suma curentilor bobinelor.

Pentru verificarile la stabilitate termica, se vor respecta prevederile indicate la pct. 4.2.2.3 de mai sus.

Prin respectarea conditiilor de mai sus, nu mai este necesara verificarea respectarii limitelor pentru tensiunile de atingere si de pas în zona postului.

În cazul "b" de la pct. 4.2.3.2 pentru instalatia de legare la pamânt de pe partea de înalta tensiune, verificarile la stabilitate termica si la tensiunile de atingere si de pas maxime admise, se vor efectua conform indicatiilor de la pct. 3.2.2.3 din prezenta lucrare.

În zonele cu circulatie frecventa pe partea de joasa tensiune se va realiza totdeauna o priza de pamânt artificiala, a carei rezistenta va fi de cel mult 10 Ω, cu conditia ca totdeauna sa se îndeplineasca prevederea ca rezistenta de dispersie rezultata a sistemului constituit de conductorul de nul si prizele de pamânt legate la acesta sa fie mai mica de 4 Ω.

În cazul în care la postul de transformare exista descarcatoare cu coarne pe partea de înalta tensiune, priza de pamânt locala a postului la care se racordeaza descarcatorul va avea totdeauna rezistenta de dispersie de cel mult 10 Ω.

4.2.4. Instalatii electrice în incinta centralelor electrice sau a întreprinderilor industriale

La centralele electrice si întreprinderile industriale se va folosi în comun instalatia de legare la pamânt pentru toate echipamentele, indiferent de tensiunile nominale, respectându-se pct. 3.1.1.1 si tabelul 4 (a se vedea si pct.1.1.9).

Pentru instalatiile si echipamentele din retelele de înalta tensiune cu neutrul izolat se vor respecta indicatiile date în subcapitolele 3.2.1 - 3.2.3 ale prezentei lucrari, în functie de categoria instalatiei si categoria zonei în care se afla acestea din punct de vedere al frecventei circulatiei.

La dimensionarea conductoarelor de ramificatie se va respecta conditia de la pct. 3.2.1.2.

4.2.5. Stâlpii liniilor electrice aeriene

4.2.5.1. Stâlpi fara aparataj din zonele cu circulatie frecventa din localitati.

Instalatiile de legare la pamânt prevazute conform STAS 12604/5-90 si pct. 1.4.4 din prezenta lucrare, la stâlpii fara aparataj ai liniilor electrice aeriene din zonele cu circulatie frecventa din localitati vor fi astfel dimensionate, încât tensiunile de atingere si de pas sa nu depaseasca valoarea de 125 V.

Astfel:

$$\frac{k_a \cdot R_p}{\alpha_a + \beta - 1} \leq \frac{125}{I_p} ; \quad \frac{k_{pas} \cdot R_p}{\alpha_{pas}} \leq \frac{125}{I_p}$$

în care:

- l_p are valoarea curentului de punere simpla la pamânt sau în cazul compensarii, cea a curentului rezidual, însa cel puțin 10 A;
- α_a si α_{pas} - coeficientii de amplasament (a se vedea STAS 12604/4-89 si pct. 4.1.5.2);
- β - coeficientul de izolare a betonului la stâlpilor de beton armat (a se vedea pct. 3.1.5.2 din prezentul îndreptar).

4.2.5.2. Stâlpilor cu aparataj

În cazul tuturor stâlpilor cu aparataj, se vor respecta conditiile de mai sus de la pct. 3.2.5.1, cu deosebirea ca se considera $\beta = 1$.

$$\frac{k_a \cdot R_p}{\alpha_a} \leq \frac{125}{l_p} ; \quad \frac{k_{pas} \cdot R_p}{\alpha_{pas}} \leq \frac{125}{l_p}$$

Pentru asigurarea stabilitatii termice a prizelor de pamânt se va îndeplini urmatoarea conditie privind rezistenta lor de dispersie:

$$R_p \leq \frac{12\sqrt{\rho}}{l_p}$$

unde:

l_p se va lua în conformitate cu indicatia de la pct. 4.2.5.1, iar ρ este rezistivitatea solului (exprimata în Ωm).

În calcule se va considera în primul rând priza naturala a stâlpului.

Daca cu aceasta priza nu se pot respecta conditiile de mai sus, atunci se vor adauga suplimentar prize artificiale pâna la satisfacerea acestor conditii.

Stâlpilor cu aparataj de la liniile electrice aeriene, în plus, se impune masura ca personalul de exploatare sa foloseasca mijloace individuale de protectie.

4.2.5.3. Stâlpilor fara aparataj din zonele din afara localitatilor si zonele cu circulatie redusa din localitati.

La stâlpilor fara aparataj din aceste zone, conform STAS 12604/4-89, nu se impune montarea de prize de pamânt din considerente de protectie împotriva tensiunilor de atingere si de pas.

La stâlpilor la care din motive de protectie împotriva supratensiunilor atmosferice se prevad prize de pamânt, acestea se vor dimensiona conform indicatiilor din capitolul 5.

4.3. Cazurile în care o retea de MT poate fi alimentata într-o schema de abatere de la cea normala de functionare din statii cu tratare diferita a neutrului fata de tratarea neutrului în schema normala.

4.3.1. Instalatiile de legare la pamânt vor fi dimensionate pentru regimul normal de functionare. Fac exceptie numai instalatiile de legare la pamânt folosite în comun de la posturile de transformare, care trebuie sa fie corespunzatoare din punct de vedere al tensiunilor de atingere impuse la consumatorii de joasa tensiune pentru conditia cea mai nefavorabila (curent de punere la pamânt si timpi de calcul). Liniile care au instalatiile de legare la pamânt concepute pentru functionarea normala a retelei cu neutrul tratat cu bobina de compensare se noteaza cu P_{BC} . Liniile care au instalatiile de legare la pamânt concepute cu rezistor se noteaza cu P_{Rn} . Aceste notatii se extind si asupra retelei si a barei de 20 kV din care se alimenteaza liniile P_{BC} si P_{Rn} .

4.3.2. În perioada functionarii în schema de abatere, sunt interzise efectuarile de lucrari sau manevre la stâlpilor cu aparataj si la posturile de transformare aflate sub tensiune din liniile P_{BC} alimentate temporar din statia cu rezistor, precum si la cele din liniile P_{Rn} , care au protectia homopolara de curent PHCL (de pe linia respectiva) cu reglajul de timp marit fata de regimul normal de functionare.

4.3.3. În statia de 110/20 kV care are pe partea de 20 kV tratarea neutrului cu bobina de compensare P_{BC} dar care poate prelua pentru alimentarea temporara în regim de abatere de la schema normala o linie P_{Rn} , se vor prevedea urmatoarele protectii specifice cazurilor tratate în prezentele reglementari:

a) protecția homopolara de tensiune PHT care să declanșeze în stația P_{BC} rapid într-un timp $t_b \leq 0,8$ s linia P_{Rn} în cazul sesizării unui defect cu punere la pământ fie în una din liniile P_{BC} fie în linia P_{Rn}; protecția PHT se poate realiza în trei variante și anume:

- PHT-L fără reanclansarea automată a liniei P_{Rn}; în acest caz dacă defectul nu este pe această linie, reanclansarea acesteia se efectuează manual;
- PHT-LR cu reanclansarea automată a liniei P_{Rn} dacă defectul cu punere la pământ este pe alta linie cu plecare din bara P_{BC};
- PHT-LT cu declanșarea de rezerva (dacă este un refuz de funcționare a întrerupătorului de linie) a transformatorului de 110/20 kV în cazul acesta curentul capacitiv total este mai mare de 10 A;

b) protecția homopolara de curent PHCL pe linia P_{Rn} cu reglaj de timp $t_b \leq 0,2$ s;

c) protecția homopolara de curent PHCL pe toate liniile P_{BC} de plecare de pe bara P_{BC} (diferite de linia care în totalitate sau parțial este P_{Rn}) cu reglaj de timp $t_b \leq 0,2$ s; aceste protecții PHCL nu sunt obligatorii în cazul regimurilor de abatere de scurtă durată notată cu T_S când se poate rămâne numai cu protecțiile disponibile existente împotriva punerilor simple la pământ (de tipul RPP) pe declanșare într-un timp $t_b \leq 0,1$ s; de asemenea se admite ca în cazul regimului de abatere de lungă durată, până la realizarea în stația P_{BC} a protecțiilor PHCL, să se funcționeze numai cu protecțiile disponibile existente împotriva punerilor simple la pământ (de tipul RPP) pe declanșare într-un timp $t_b \leq 0,2$ s.

4.3.4. În cazurile în care, pe perioada temporară de abatere o stație P_{Rn} alimentează o stație P_{BC}, atât în regimurile T_S cât și în regimurile T_I, se anulează RART atât pe liniile P_{BC} cât și pe linia P_{Rn} prin care se alimentează liniile P_{BC} din stația P_{Rn}.

4.3.5. În stația cu tratare a neutrului cu rezistor P_{Rn} se admite ridicarea reglajului de timp la protecția PHCL până la cel mult 0,4 s numai pe linia de interconexiune cu stația în care tratarea neutrului este cu bobina de compensare și numai pe perioada de abatere de la schema normală când liniile P_{BC} (din stația P_{BC}) sunt alimentate din stația P_{Rn}.

4.3.6. Se consideră perioada de abatere de scurtă durată (de cel mult 48 ore) notată cu T_S dacă stația cu bobina de compensare P_{BC} are două transformatoare de 110/20 kV care se pot rezerva reciproc alimentate prin două linii de 110 kV, de pe două bare distincte de 110 kV.

4.3.7. Se consideră perioada de abatere de lungă durată (mai mult de 48 ore) notată cu T_I dacă stația cu bobina de compensare P_{BC} are un singur transformator de 110/20 kV, respectiv o singură alimentare pe partea de 110 kV (chiar dacă în stația P_{BC} sunt două transformatoare de 110/20 kV, dar o singură linie de alimentare de 110 kV).

5. PRIZELE DE PĂMÂNT PENTRU INSTALAȚIILE DE PROTECȚIE ÎMPOTRIVA DESCARCĂRILOR ATMOSFERICE

5.1. Prevederi generale

5.1.1. La dimensionarea prizelor de pământ pentru instalațiile de protecție împotriva supratensiunilor atmosferice trebuie să se aibă în vedere rezistența de impuls:

$$R_i = \alpha_i \cdot R_p$$

unde:

α_i reprezintă coeficientul de impuls al prizei (se va lua din tabelele 6, 7 și 8);

R_p - rezistența prizei de pământ pentru regim staționar (se calculează conform indicațiilor date în anexa A.1.1).

5.1.2. În cazul prizelor de pământ multiple sau complexe, rezistența de impuls R_i se determină cu relația:

$$R_i = \frac{1}{\sum_{k=1}^{k=n} \frac{\eta_k}{\alpha_{ik} \cdot R_{pk}}}$$

în care:

- η_k este coeficientul de utilizare al prizei de rang k;
 α_{ik} - coeficientul de impuls al prizei de rang k;
 R_{pk} - rezistența de trecere la pământ a prizei de rang k, în regim staționar.

5.1.3. În situația în care se considera coeficienții de utilizare medii pentru priza de pământ complexă, construită din "m" prize verticale și "n" prize orizontale simple, relația devine:

$$R_i = \frac{R_{iv} \cdot R_{io}}{R_{iv} + R_{io}}$$

$$R_{iv} = \alpha_{iv} \cdot \frac{r_{pv}}{\eta_v \cdot m} \quad \text{și} \quad R_{io} = \alpha_{io} \cdot \frac{r_{po}}{\eta_o \cdot n}$$

5.1.4. În vederea limitării influențelor electroenergetice datorită trecerii curentului de trăsnet prin conductoarele instalației de legare la pământ, se vor lua următoarele măsuri:

- se vor utiliza, de preferință, prizele de pământ cât mai concentrate;
- distanța pe orizontală între conductorul de coborâre la priza de pământ și electrozii principali ai prizei să fie cât mai mică;
- conductoarele de legatură de la obiectele ce se racordează la priza, până la aceasta din urmă, să fie cât mai scurte.

5.1.5. Orice priza de pământ trebuie astfel amplasată, încât locul de conectare al coborârii la priza de pământ să ocupe, pe cât posibil, o poziție centrală față de ansamblul prizei respective.

5.1.6. Adâncimea de pozare a prizelor de pământ se va alege în funcție de adâncimea probabilă de uscare a solului în decursul perioadei de vară. În condiții normale, se considera suficientă o adâncime de 50 - 100 cm de la suprafața solului până la marginea superioară a prizei de pământ.

5.1.7. Prizele de pământ artificiale se vor executa din electrozi de oțel zincat cu secțiunea de cel puțin 150 mm² și grosimea de cel puțin 4 mm, respectiv 3,5 mm la teava sau din electrozi nezincati cu secțiunea de cel puțin 150 mm² și grosimea de cel puțin 6 mm, respectiv 4,5 mm la teava.

Se interzice vopsirea electrozilor îngropați în pământ.

Ca electrozi verticali se vor folosi, de regulă, tevi din oțel profilat cu lungimea de 1,5 ... 3 m iar ca electrozi orizontali se vor utiliza benzi de oțel rotund sau alte profiluri de oțel.

5.1.8. Toate îmbinările în partea subterană a prizelor de pământ se vor face cu sudură prin suprapunere.

5.1.9. Pentru condițiile de dimensionare și de realizarea instalațiilor de legare la pământ pentru protecția împotriva supratensiunilor a se vedea și normativul NTE 001/03/00.

5.2. Prizele de pământ la stâlpii liniilor electrice aeriene

5.2.1. Din punct de vedere al protecției împotriva supratensiunilor atmosferice, liniile electrice pe stâlpi de beton armat sunt considerate ca și liniile pe stâlpi metalici.

Pentru protecția lor împotriva tensiunilor de atingere și de pas, în afara de condițiile prevăzute în prezentul subcapitol, se vor respecta și condițiile prevăzute în cap. 3.

5.2.2. În funcție de rezistivitatea solului, rezistența prizei de pământ a fiecărui stâlp nu va depăși valorile din tabelul 6.

Tabelul 6

Nr. crt.	Rezistivitatea solului, Ωm	Rezistența maximă a prizei de pământ	
		$U \leq 110 \text{ kV}$	$U > 110 \text{ kV}$
1.	$\rho \leq 100$	10	10 ^{*)}
2.	$100 < \rho \leq 500$	15	10
3.	$500 < \rho \leq 1000$	20	15
4.	$\rho > 1000$	30	20 ^{**)}

*) Se recomandă adoptarea unei rezistențe de până la 5 Ω dacă aceasta nu impune greutăți deosebite de

realizare.

**) În cazuri excepționale, când condițiile impun prize costisitoare, se admite valoarea maximă de 30 Ω.

Nu se admite depășirea valorii de 30 Ω, deoarece nivelul protecției împotriva descărcărilor atmosferice ar coborî atât de mult, încât nici existența conductorului de protecție nu ar mai fi eficientă.

5.2.3. În toate cazurile, inclusiv în cazul liniilor prevăzute cu conductoare de protecție, valorile rezistențelor de dispersie din tabelul 6 de mai sus sunt valabile pentru priza de pământ locală a stâlpului, respectiv în situația cu priza de pământ a stâlpului deconectată de la conductorul de protecție.

5.2.4. Legătura la pământ a descărcătoarelor montate pe stâlpi metalici, se realizează prin corpul stâlpului respectiv iar la instalarea lor în apropiere de o stație, se leagă la priza de pământ a acesteia, respectându-se și condițiile de la 4.2.6 și 4.3.3. La stâlpii de beton armat pentru legătura la priza de pământ se va putea folosi armătura metalică a stâlpului, cu respectarea condițiilor de continuitate și de secțiune minimă admisă.

5.2.5. În cazurile în care curentul de scurtcircuit depășește limita superioară de rupere a descărcătorului, legătura la pământ se va face pe fiecare fază în parte, iar distanța între faze trebuie să fie de cel puțin 3 m.

5.2.6. Din considerentele de protecție împotriva descărcărilor atmosferice, valoarea rezistenței de legare la pământ a descărcătoarelor va fi:

- pentru descărcătoarele cu coarne montate pe stâlpii liniilor $R_p = 10 \dots 20 \Omega$;
- pentru descărcătoarele de pe intrările în stațiile de transformare $R_p \leq 10\Omega$;
- pentru intrările în stațiile mai apropiate de centrale sau în centralele care au linii de distribuție la tensiunea generatoarelor $R_p \leq 3 \dots 5 \Omega$.

La legăturile la pământ ale descărcătoarelor cu bare de oțel, secțiunea minimă este de 50 mm².

5.3. Prizele de pământ la centrale și stații

5.3.1. Se recomandă ca racordarea paratrăsnetelor la rețeaua conductoarelor principale de legare la pământ a stației să se execute prin mai multe cai, dispuse radial, cu prevederea unor electrozi suplimentari locali, care să realizeze o rezistență de maxim 25 Ω la frecvența industrială.

Tabelul 7

Valoarea aproximativă a coeficientului de impuls α_i pentru o priză simplă cu electrod vertical de lungime l , în cazul unde curentul de impuls cu frontul de 3 - 6 μs

Nr. crt.	Rezistivitatea solului, Ωm	Curentul de trasnet, kA							
		5		10		20		40	
		$l = 2 \text{ m}$	$l = 3 \text{ m}$	$l = 2 \text{ m}$	$l = 3 \text{ m}$	$l = 2 \text{ m}$	$l = 3 \text{ m}$	$l = 2 \text{ m}$	$l = 3 \text{ m}$
1	10^2	0,85	0,80	0,75	0,85	0,60	0,75	0,30	0,60
2	$5 \cdot 10^2$	0,60	0,70	0,50	0,60	0,35	0,45	0,25	0,30
3	10^3	0,45	0,55	0,35	0,45	0,23	0,30	-	-

Valoarea aproximativa a coeficientului de impuls α_i pentru o priza simpla cu electrod orizontal de lungime l, în cazul unei curentului de impuls cu frontul de 3 - 6 μ s

Nr. crt.	Rezistivitatea solului, Ω m	Lungimea electrodului, m	Curentul de trasnet, kA		
			10	20	≥ 40
1	10^2	5	0,75	0,65	0,50
		10	1,00	0,10	0,80
		20	1,15	1,05	0,95
2	$5 \cdot 10^2$	5	0,55	0,45	0,30
		10	0,75	0,60	0,45
		20	0,90	0,75	0,60
		30	1,00	0,90	0,80
3	10^3	10	0,55	0,45	0,35
		20	0,75	0,60	0,50
		40	0,95	0,85	0,75
		60	1,15	1,10	0,95

Tabelul 9

Valorile aproximative ale coeficientilor de impuls α_i pentru priza orizontala inelara, în cazul intrarii curentului prin 3 sau 5 electrozi orizontali

Nr. crt.	Rezistivitatea solului, Ω m	Lungimea inelului, m	Curentul de trasnet, kA		
			20	40	≥ 80
1	10^2	4	0,60	0,45	0,35
		8	0,70	0,65	0,50
		12	0,80	0,70	0,60
2	$5 \cdot 10^2$	4	-	-	-
		8	0,55	0,45	0,30
		12	0,60	0,50	0,35
3	10^3	4	-	-	-
		8	0,40	0,30	0,25
		12	0,45	0,40	0,30
4	$2 \cdot 10^3$	20	0,60	0,50	0,40
		40	0,70	0,65	0,55
		50	0,90	0,80	0,75
		80	1,05	0,93	0,90
		100	1,20	1,10	1,05

5.3.2. Din punct de vedere electric, coborârea de la vârful paratrasnetului la prizele de pamânt se realizeaza în felul urmator:

- la stâlpii de beton armat, prin una din armaturi, careia i se asigura continuitatea pe toata înaltimea stâlpului;
- la stâlpii metalici nu este necesara prevederea unei coborâri separate.

5.3.3. La locul de montare a descarcatoarelor trebuie sa se prevada suplimentar o priza de pamânt individuala, care se va lega în paralel cu instalatia de legare la pamânt a statiei; priza individuala legata în paralel trebuie sa aiba o rezistenta de cel mult 25 Ω .

Legatura la pamânt se va realiza cu un conductor de coborâre din otel, care sa aiba o sectiune minima de 50 mm². În afara legaturilor la descarcator si la contor care necesita deconectarea pentru revizie, toate celelalte îmbinari trebuie sa fie sudate.

ANEXE

A.1. Calculul rezistenței de dispersie

A.1.1. Pentru executarea unei prize de pamânt de o anumita rezistență, este necesar sa se efectueze un calcul prealabil, urmând ca dupa executarea prizei sa se verifice prin masurari directe concordanta între valoarea reala si cea rezultata din calcul.

Totdeauna se vor folosi în primul rând prizele naturale. Prizele de pamânt artificiale se vor folosi numai pentru completarea prizelor naturale si pentru dirijarea distributiei potentialelor. Prevederea prizelor artificiale trebuie sa fie justificata în proiect.

Proiectantul partii de constructii va da toate datele necesare pentru asigurarea continuitatii armaturilor metalice si accesibilitatea lor pentru executia legaturii. Proiectantul partii tehnologice va da detalii pentru accesibilitatea constructiilor metalice, pentru utilizarea lor drept prize de pamânt naturale si conductoare de legatura. Unitatile de constructii-montaj vor respecta întocmai proiectul si vor atesta executia prin PV de lucrari ascunse, întocmite în timpul executarii lucrarilor.

A.1.2. Rezistențele prizelor de pamânt, de care trebuie sa se tina seama la executarea prizelor de pamânt, sunt:

- rezistența echivalenta a prizelor de pamânt naturale, R_{pn} ;
- rezistența echivalenta a prizelor de pamânt artificiale, R_{pa} ;
- rezistența echivalenta a prizelor de pamânt pentru dirijarea distributiei potentialelor, R_{pd} ;
- rezistența de dispersie R_{sc} a sistemelor constituite din conductoarele de protectie ale LEA racordate la instalatia de legare la pamânt de la capete si la prizele de pamânt ale stâlpilor LEA, R_{ps} ;
- rezistența de dispersie, rezultanta a altor prize aflate în incinta (platforma) respectiva, R_v , conductoarele de legatura având impedanta Z_o .

Rezistențele R_{pa} si R_{pd} se vor determina luându-se în considerare coeficientii respectivi de utilizare.

A.1.3. Relatia de calcul pentru rezistența unei prize de pamânt complexe este urmatoarea:

$$R_p = \frac{1}{\frac{1}{R_{pa}} + \frac{1}{R_{pn}} + \frac{1}{R_{pd}} + \frac{1}{R_{sc}} + \frac{1}{R_v + Z_o}} \quad (1.1)$$

Rezistența prizei artificiale, reprezinta rezistența echivalenta a prizelor de pamânt artificiale singulare etc.

$$R_{pa} = \frac{1}{\sum_{k=1}^{k=n} \frac{\eta_k}{r_{pk}}} \quad (1.2)$$

unde:

- r_{pk} este rezistența prizei singulare de rang k;
 - η_k - coeficientul de utilizare a prizei singulare de rang k.
- La prizele cu electrozi identici, relatia devine:

$$R_{pa} = \frac{r_p}{n \cdot \eta} \quad (1.3)$$

unde:

- r_p este rezistența unei prize singulare;
- η - coeficientul de utilizare;
- n - numarul de electrozi folositi.

A.1.4. Prize de pamânt singulare în soluri omogene

În anexa A, tabelele 6 ... 9 din STAS 12604/5-90, se dau relatiile de calcul pentru diferite prize de pamânt singulare (verticale si orizontale) în soluri considerate omogene.

În cazul prizelor de pamânt complexe cu electrozi verticali si orizontali dispusi în linie sau pe un contur coeficientii de utilizare a prizelor singulare sunt dati în tabelele 10 si 11 din STAS 12604/5-90 si tabelului A.1.1 de mai jos.

Prizele de pamânt artificiale se vor executa din otel si/sau cupru; electrozii din cupru se vor folosi în cazuri justificate de exemplu, când solul este agresiv pentru otel ($\text{pH} < 6$) sau daca rezulta ca folosirea cuprului este mai economica decât protejarea otelului în strat de bentonita.

Tabelul A.1.1

Nr. crt.	Numarul electrozilor	Distanța a dintre electrozii verticali în raport cu lungimea / a electrozilor	Coeficientul de utilizare			
			Electrozi verticali asezati liniar		Electrozi verticali amplasati pe un contur (circuit închis)	
			priza verticala u_1	priza orizontala u_2	priza verticala u_1	priza orizontala u_2
1	2	3	4	5	6	7
1	2	a = 1	0,85	0,80	-	-
	3		0,80	0,80	0,75	0,50
	4		0,75	0,77	0,65	0,45
	5		0,70	0,75	0,62	0,42
	6		0,65	0,60	0,60	0,40
	10		0,60	0,60	0,55	0,33
	20		0,50	0,20	0,50	0,25
	40		-	0,20	0,40	0,20
	60		-	-	0,38	0,20
100	-	-	0,35	0,19		
2	2	a = 2,1	0,90	0,90	-	-
	3		0,85	0,90	0,80	0,60
	4		0,82	0,88	0,75	0,55
	5		0,80	0,85	0,72	0,52
	6		0,78	0,80	0,70	0,50
	10		0,75	0,75	0,66	0,44
	20		0,70	0,56	0,61	0,30
	40		-	0,40	0,55	0,29
	60		-	-	0,52	0,27
100	-	-	0,50	0,24		
3	2	a = 3,1	0,95	0,95	-	-
	3		0,90	0,90	0,90	0,75
	4		0,88	0,85	0,85	0,70
	5		0,85	0,82	0,82	0,68
	6		0,82	0,80	0,80	0,65
	10		0,80	0,75	0,75	0,56
	20		0,75	0,68	0,70	0,45
	40		-	0,54	0,65	0,39
	60		-	-	0,62	0,36
100	-	-	0,60	0,33		

În cazul instalatiilor electrice de joasa tensiune sectiunile (s), grosimile (g) si diametrele (d) minime ale electrozilor si ale conductoarelor de legatura din otel îngropate în pamânt vor fi cele indicate în tabelul A.1.2, conform STAS 12604/5.

Tabelul A.1.2

Tipul electrodului	Durata de functionare			
	mai mica de 10 ani		mai mare de 10 ani	
	$\text{pH} \geq 6$	$\text{pH} < 6$	$\text{pH} \geq 6$	$\text{pH} < 6$
1	2	3	4	5
Benzi sau alte profiluri din otel (cornier T.I-etc)	s = 100 mm ² g = 4 mm	nu sunt admise	s = 100 mm ² g = 6 mm	nu sunt admise

neprotejate				
Idem, zincate	s = 100 mm ² g = 4 mm	s = 100 mm ² g = 6 mm	s = 100 mm ² g = 4 mm	s = 150 mm ² g = 6 mm
Idem, protejate în strat de bentonita	s = 100 mm ² g = 4 mm	s = 100 mm ² g = 4 mm	s = 100 mm ² g = 4 mm	s = 100 mm ² g = 4 mm
Tevi din otel neprotejate	g = 3,5 mm	nu sunt admise	g = 4,5 mm	nu sunt admise
Idem, zincate	g = 3,5 mm	g = 3,5 mm	g = 3,5 mm	g = 4,5 mm
Idem, protejate în bentonita	g = 3,5 mm	g = 3,5 mm	g = 3,5 mm	g = 3,5 mm
Otel rotund neprotejat	d = 11 mm	nu sunt admise	d = 11 mm	nu sunt admise
Idem, zincat	d = 10 mm	d = 10 mm	d = 10 mm	d = 14 mm
Idem, protejat în bentonita	d = 10 mm	d = 10 mm	d = 10 mm	d = 10 mm
Placa din otel neprotejata	g = 3 mm	nu sunt admise	g = 4 mm	nu sunt admise
Idem, zincata	g = 3 mm	g = 4 mm	g = 3 mm	g = 4 mm
Idem, protejata în bentonita	g = 3 mm	g = 3 mm	g = 3 mm	g = 3 mm
Otel rotund protejat prin înglobare în beton	d = 4 mm	d = 8 mm	d = 8 mm	d = 8 mm

Pentru instalatiile si echipamentele electrice de înalta tensiune, sectiunea minima a electrozilor din otel pentru prizele de pamânt artificiale este de 150 mm², indiferent de modul de protejare a otelului sau de agresivitatea solului. Grosimea minima este conform tabelului A.1.3 în functie de agresivitatea solului si de modul de protejare a otelului împotriva corodarii. Fac exceptie electrozii protejati prin înglobare în beton, pentru care sectiunea minima este de 100 mm².

Tabelul A.1.3

Nr. crt.	Modul de protejare împotriva coroziunii	Felul electrodului	Grosimea minima a electrodului, în mm pentru:	
			pH ≥ 6	pH < 6
1	Neprotejate	profil	6,0 ^{x)}	nu sunt admise
2		teava	4,5 ^{x)}	nu sunt admise
3		placa	4,0 ^{x)}	nu sunt admise
4		profil	4,0	5,0
5	zincate	teava	3,5	4,5
6		placa	3,0	4,0
7	în strat de bentonita cu grosime de min 200 cm	profil	4,0	4,0
8		teava	3,5	4,0
9		placa	3,0	3,5
10	înglobate în beton	profil	3,0	3,0
11		otel rotund	∅ 8,0	∅ 8,0

*) În cazul prizelor de pamânt destinate unei functionari pâna la 10 ani, grosimile pot avea, respectiv, valorile de 4,0; 3,5 si 3,0 mm (ca la nr.crt. 4, 5 si 6).

Sectiunea minima a electrozilor de cupru pentru prizele de pamânt artificiale va fi de 25 mm² pentru electrozii masivi si de 35 mm² pentru conductoarele funie.

Grosimea minima a electrozilor din cupru va fi de 3 mm pentru bare sau banda si de 2 mm pentru placi. Relatiile de calcul pentru determinarea rezistentei de dispersie r_p a prizei de pamânt singulare sunt urmatoarele:

a) Pentru prizele verticale din teava sau otel rotund cu partea superioara la nivelul suprafetei solului:

$$r_p = 0,366 \frac{\rho}{l} \lg \frac{4l}{d} \quad (1.4)$$

în care:

ρ este rezistivitatea solului (în Ωm);

l - lungimea electrodului (în m);

d - diametrul exterior al electrodului (în m).

Daca lungimea nu depaseste valoarea de 6 m, ceea ce în cazurile obisnuite nu are loc, se poate folosi cu suficienta aproximatie urmatoarea formula simplificata:

$$r_p = 0,9 \frac{\rho}{l} \quad (1.5)$$

b) Pentru prizele verticale din teava sau otel rotund, cu partea superioara la o adâncime q fata de suprafata solului (fig.A.1.1)

$$r_p = 0,366 \frac{\rho}{l} \left(\lg \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t+l}{4t-l} \right) \quad (1.6)$$

în care:

t este adâncimea de la suprafata solului pâna la mijlocul electrodului (m).

În figura A.1.1 este reprezentata o priza simpla verticala având partea superioara la nivelul suprafetei solului (a) si, respectiv, partea superioara la adâncimea q fata de suprafata solului (b).

În mod obisnuit se folosesc prizele care au partea superioara la o adâncime suficienta fata de suprafata solului, pentru ca rezistenta r_p sa nu fie influentata de variatiile agentilor atmosferici. Din acest punct de vedere, adâncimea q trebuie sa fie de cel putin 0,6 m. Daca adâncimea q este mai mica de 0,5 m portiunea de electrod de la partea superioara pâna la aceasta adâncime nu va fi considerata în calcule. De exemplu, daca electrodul are o lungime de 3 m si capatul superior este la o adâncime de 0,2 m fata de suprafata solului, în relatia rezistentei r_p se considera numai lungimea de 2,7 m.

Se va avea în vedere si faptul ca tensiunile de pas scad foarte mult prin cresterea adâncimii q. Aceasta adâncime se maresta pâna la 1m si chiar la 1,2 m, daca se intentioneaza obtinerea unor coeficienti de pas reduci.

În figura A.1.2 este reprezentata diagrama de variatie a rezistentei r_p în functie de lungimea electrodului l, pentru urmatoarea situatie: rezistivitatea solului $\rho = 100 \Omega\text{m}$, diametrul tevii uzuale $d=0,06 \text{ m}$ si adâncimea $q=0,8 \text{ m}$.

Daca rezistivitatea ρ a solului este diferita de valoarea de $100 \Omega\text{m}$, pentru aceeasi situatie, rezistenta r_p a prizei singulare se poate obtine înmultind valoarea r_p rezultata din figura 7 cu raportul

$$\frac{\rho}{100};$$

$$r_p' = r_p \cdot \frac{\rho}{100}$$

De exemplu, pentru $\rho = 100 \Omega\text{m}$, $l = 3 \text{ m}$, $d = 0,06 \text{ m}$ si $q = 0,08\text{m}$; rezulta din diagrama $r_p = 25 \Omega$.

Pentru acelasi electrod, daca rezistivitatea solului este $\rho = 200 \Omega\text{m}$, rezistenta de dispersie a prizei va fi:

$$r_p' = r_p \cdot \frac{200}{100} = 50 \Omega$$

Relatia rezistentei r_p se poate scrie si sub forma:

$$r_p = \frac{\rho}{k},$$

unde:

$$k = \frac{l}{0,366 \lg \frac{2l}{d} \sqrt{\frac{4t+l}{4t-l}}}$$

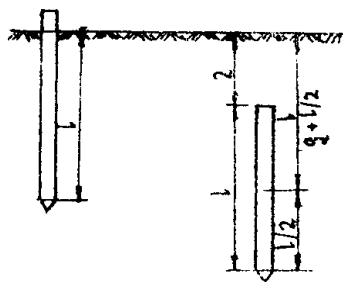


Figura A.1.1- Priza simpla verticala:

- a)- având partea superioara la nivelul solului;
- b)- având partea superioara la adâncimea q fata de suprafata solului

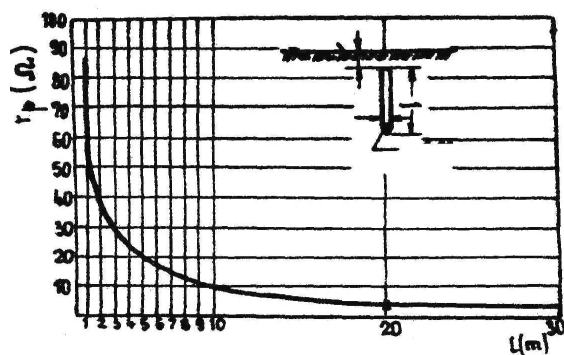


Figura A.1.2- Valorile rezistentei r_p în functie de lungimea electrodului din teava îngropat vertical pentru $\rho = 100 \Omega m$.

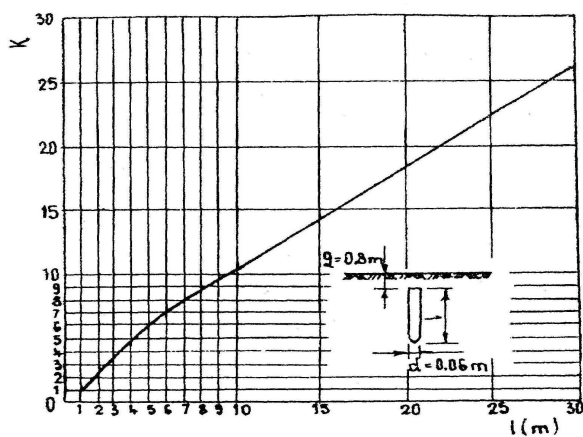


Figura A.1.3- Valorile k în functie de lungimea electrodului din teava, îngropat vertical.

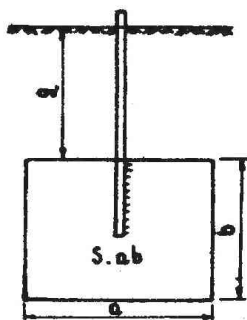


Figura A.1.4- Priza simpla cu electrod din placa, având partea superioara la adâncimea q fata de suprafata solului

În figura A.1.3 este reprezentată diagrama de variație a valorii k în funcție de lungimea l , pentru $d = 0,06$ m și $q = 0,8$ m.

Dacă se cunoaște k , se poate obține cu mai multă ușurință valoarea r_p în funcție de rezistivitatea solului.

De exemplu, dacă $l = 2,5$ m, rezultă din diagrama $k = 3,4$. Pentru o rezistivitate $\rho = 200$ Ω m din relația de mai sus, se obține:

$$r_p = \frac{200}{3,4} = 58,8 \Omega$$

În tabelul A.1.4 se dau valorile rezistențelor r_p pentru prizele verticale din teava cu diametrul exterior $d = 0,06$ m, în funcție de rezistivitatea ρ a solului și de lungimea electrodului pentru două valori q .

c) Pentru prizele verticale cu electrozi din alte profiluri de oțel (cu secțiunea patrată sau dreptunghiulară, cornier, T, I, U) se folosesc aceleși formule ca și pentru prizele din tevi, înlocuind diametrul d cu următoarele mărimi:

- pentru secțiunea dreptunghiulară, având latura mare b (latimea electrodului) ($d=b/2$);
- pentru cornierul cu latura cea mai mică b ($d=b$);
- pentru profil T cu lățimea a ($d=a$);
- pentru profil I cu înălțimea h ($d=h/2$);
- pentru profil U cu înălțimea talpii b ($d=b$).

d) Pentru prizele verticale din placă (aceasta fiind îngropată în poziție verticală) cu partea superioară la o adâncime q față de suprafața solului (figura 9).

$$r_p = 0,25 \frac{\rho}{\sqrt{S}} \quad (1.7)$$

$$\text{La placa patrata } r_p = 0,25 \frac{\rho}{a}$$

unde:

- ρ este rezistivitatea solului (Ω m);
- S - suprafața plăcii (m^2);
- a - latura plăcii (m).

Această relație constituie o formă simplificată a unei formule mai dezvoltate; ea prezintă însă o aproximație acceptabilă pentru practică.

În figura A.1.4 este prezentată o priză simplă cu electrod din placă, având partea superioară la adâncimea q față de suprafața solului.

Este indicat ca în soluțiile obișnuite, argiloase, adâncimea de îngropare q să fie de cel puțin 1m.

e) Pentru prizele orizontale cu electrozi din teava sau profil rotund, așezate orizontal la nivelul solului (pe suprafața pământului - figura A.1.5):

$$r_p = 0,732 \frac{\rho}{l} \cdot \lg \frac{l^2}{d} \quad (1.8)$$

unde notațiile au semnificațiile din relațiile anterioare.

f) Pentru prizele orizontale cu electrozi din teava sau profil rotund, îngropate orizontal la adâncimea t față de suprafața solului:

$$r_p = 0,366 \frac{\rho}{l} \cdot \lg \frac{l^2}{td} \quad (1.9)$$

Dacă lungimea electrodului este de 10 și 25 m, iar diametrul $d = 14$ și 25 mm, se poate folosi următoarea formulă simplificată, care prezintă o aproximație acceptată pentru practică:

$$r_p = 2 \cdot \frac{\rho}{l} \quad (1.10)$$

Tabelul A.1.4

Rezistența r_p a prizelor simple, verticale, din teava cu diametrul exterior $d = 0,06$ m

Rezistența solului ρ Ωm	Rezistența r_p a prizei, Ω												
	Lungimea electrodului, m												
	1,5	2	2,5	3	3,5	4	5	6	8	10	20	30	
	a) $q = 0$ m												
50	23,9	19,5	16,2	14,0	12,4	11,0	9,38	7,95	6,25	5,17	2,875	2,0	
100	47,8	39	32,4	28	24,8	22	18,7	15,9	12,5	10,35	5,75	4	
150	71,1	58,5	48,6	42	37,2	33	28	23,85	18,75	15,5	8,63	6	
200	95,6	78	64,8	56	49,6	44	37,5	31,8	25	20,7	11,5	8	
300	140,4	117	97,2	84	74,4	66	56	47,7	37,5	31,05	17,25	12	
500	239	195	162	140	124	110	93,8	79,5	62,5	51,7	28,75	20	
1000	478	390	324	280	248	220	187	159	125	103,5	57,5	40	
	b) $q =$ 0,8 m												
50	22,8	17,8	14,7	12,3	11,6	10,4	8,75	7,55	5,96	5	2,69	1,97	
100	45,6	35,6	29,4	24,6	23,2	20,8	17,50	15,10	11,92	10	5,37	3,94	
150	68,4	53,4	44,1	36,9	34,8	31,2	26,25	22,65	17,8	15	8,05	5,9	
200	91,2	71,2	58,8	49,2	46,4	41,6	35	30,20	23,84	20	10,74	7,88	
300	136,8	106,8	88,2	73,8	69,6	62,4	35,50	45,3	35,76	30	16,1	11,82	
500	228	178	147	123	116	104	87,5	75,5	59,60	50	26,9	19,70	
1000	456	356	294	246	232	208	175	151	119	100	53,7	39,40	

Adâncimea de îngropare a prizelor horizontale trebuie să fie de cel puțin 0,5 m, pentru a nu fi influențate simțitor de variațiile condițiilor atmosferice. Prizele horizontale de dirijare a distribuției potențialelor, pozate pentru micșorarea tensiunilor de atingere, pot avea și adâncimi mai mici.

Figura A.1.6 reprezintă o priză horizontală cu electrod inelar la nivelul suprafeței solului (a), îngropat la adâncimea t față de suprafața solului (b).

De regula, electrozii prizelor horizontale se îngroapă la o adâncime de 0,6 - 0,8 m.

În figura A.1.7 este prezentată diagrama de variație a rezistenței r_p în funcție de lungimea electrodului l , pentru $\rho = 100 \Omega\text{m}$, $d = 0,014 \text{ m}$ și $t = 0,6 \text{ m}$. Pentru alte rezistivități ρ rezistența r_p

se obține cu ajutorul relației $r_p = r_p \frac{\rho}{100}$.

În figura A.1.8 este prezentată diagrama de variație a valorii K în funcție de lungimea l , pentru $d = 0,014 \text{ m}$ și $t = 0,6 \text{ m}$. Cunoscându-se K , rezistența r_p se obține din relația $r_p = \frac{\rho}{K}$,

în care:

$$K = \frac{l}{0,366 \lg \frac{l^2}{td}}$$

În tabelul A.1.5 se dau valorile rezistențelor r_p ale prizelor horizontale cu electrod rotund dispuse sub forma de bandă rectilinie, la adâncimea $t = 0,6 \text{ m}$, în funcție de rezistivitatea solului și de lungimea electrodului pentru două valori ale diametrului.

În figura A.1.7 sunt prezentate valorile rezistenței r_p în funcție de lungimea electrodului din profil rotund, îngropat orizontal.

g) Pentru prizele horizontale cu electrozi din alte profiluri (banda lăta cu secțiunea dreptunghiulară, cornier, T, I, U etc.) se folosesc aceleași formule ca pentru prizele din tevi sau profil rotund, înlocuind diametrul d cu marimile indicate la punctul "c" privind prizele verticale.

În figura A.1.8 sunt prezentate valorile K în funcție de lungimea electrodului rotund îngropat orizontal.

h) Pentru prizele inelare cu un electrod de secțiune circulară (teava sau profil rotund), așezat orizontal la nivelul suprafeței solului (figura A.1.8).

$$r_p = 0,732 \frac{\rho}{l} \lg \frac{8l}{\pi d} = 0,732 \frac{\rho}{l} \left(\lg \frac{2l}{d} + 0,1055 \right) \quad (1.11)$$

în care:

l este lungimea inelului (electrodului);

d - diametrul electrodului.

Este de remarcat faptul că față de relația pentru electrozii liniari, în formula pentru electrozii inelari mai apare și coeficientul 0,1055 care exprimă ecranarea datorită faptului că electrodul este în contur închis (inel).

i) Pentru prizele inelare cu un electrod de secțiune circulară (teava sau otel rotund), îngropat orizontal la adâncimea t față de suprafața solului (figura A.1.6):

$$r_p = 0,366 \frac{\rho}{l} \lg \frac{4l^2}{\pi dt} = 0,366 \frac{\rho}{l} \left(\lg \frac{l^2}{td} + 0,1055 \right) \quad (1.12)$$

În tabelul A.1.6 sunt prezentate valorile rezistențelor r_p ale prizelor horizontale cu electrod rotund, dispus sub forma de inel la adâncimea $t = 0,6 \text{ m}$, în funcție de rezistivitatea solului și de lungimea electrodului $l = \pi D$, unde D este diametrul inelului pentru două valori ale diametrului.

j) Pentru prizele inelare cu electrozi din alte profiluri de otel se folosesc relațiile de mai sus, în care se înlocuiește diametrul d cu marimile indicate la punctul "c" al acestui paragraf. De exemplu, pentru electrozii din banda de otel cu secțiunea dreptunghiulară având lățimea b , relațiile devin:

$$r_p = 0,732 \frac{\rho}{l} \lg \frac{16l}{\pi b} = 0,732 \frac{\rho}{l} \left(\lg \frac{4l}{b} + 0,1055 \right) \quad (1.13)$$

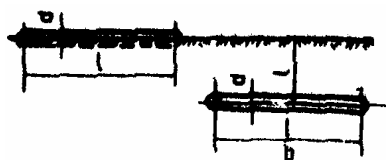


Figura A.1.5- Priza simpla orizontala, cu electrod din otel rotund.

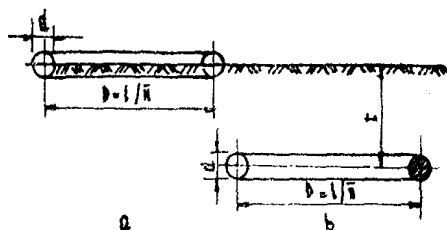


Figura A.1.6- Priza orizontala cu electrod inelar
 a)- la nivelul suprafetei solului
 b)- îngropat la adâncimea S fata de suprafata solului

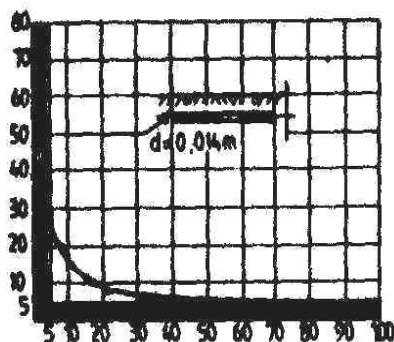


Figura A.1.7- Valorile rezistentei r_p în functie de lungimea electrodului cu profil rotund, îngropat orizontal.

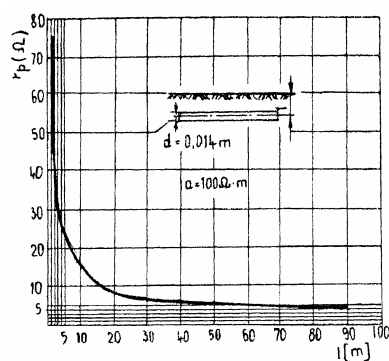


Figura A.1.8- Valorile k în functie de lungimea electrodului rotund îngropat orizontal.

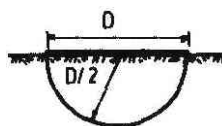


Figura A.1.9- Priza simpla cu electrod semisferic.

Tabelul A.1.5

Rezistențele r_p a prizelor simple, orizontale, cu electrod rotund dispus sub forma de banda rectilinie, la o adâncime $d = 0,6$ m

Rezistența solului ρ Ωm	Rezistența r_p a prizei, Ω											
	Lungimea electrodului, m											
	1	2	5	8	10	15	20	30	40	50	75	100
	a) Diametrul exterior al electrodului $d = 0,014$ m											
50	38	18,5	12,7	8,85	7,45	5,4	4,27	3,06	2,39	1,9	1,42	1,11
100	76	37	25,4	17,70	14,90	10,8	8,55	6,15	4,78	3,8	2,84	2,22
150	114	55,5	38,1	26,55	22,4	16,2	12,8	9,2	7,16	5,7	4,26	3,33
200	152	74	50,8	35,40	29,80	21,6	17,1	12,26	9,56	7,6	5,68	4,44
300	228	111	76,2	53,1	44,8	32,4	25,6	18,4	14,3	11,5	8,5	6,66
500	380	185	127	88,5	74,5	54	42,7	30,6	23,9	19	14,2	11,10
1000	760	370	254	177	149	108	85,5	61,3	47,8	38	28,4	22,20
	b) Diametrul exterior al electrodului $d = 0,022$ m											
50	34,5	17,2	11,6	8,4	7,1	5,15	3,91	2,95	2,32	1,93	1,38	1,08
100	69,0	34,4	23,2	16,8	14,2	10,30	7,83	5,90	4,65	3,85	2,76	2,16
150	93,5	51,6	34,8	24,2	21,3	15,45	11,74	8,85	6,97	5,79	4,14	3,24
200	138	68,8	46,4	33,6	28,4	20,6	15,66	11,8	9,3	7,72	5,52	4,32
300	187	103,2	69,6	48,4	42,6	30,9	23,48	17,7	13,95	11,58	8,28	6,48
500	345	172	116	84	71	51,5	39,1	29,5	23,2	19,3	13,8	10,80
1000	690	344	232	169	142	103	78,3	59	46,5	38,6	27,6	21,60

Tabelul A.1.6

Rezistentele r_p a prizelor de pamînt simple, orizontale, cu electrod rotund dispus în forma de inel, la o adîncime $t = 0,6$ m

Rezistența solului ρ Ωm	Rezistența r_p a prizei, Ω											
	Lungimea electrodului (inelului) = πD , m											
	1	2	5	8	10	15	20	30	40	50	75	100
	a) Diametrul exterior al electrodului $d = 0,014$ m											
50	40	19,1	12,85	9,15	7,66	5,5	4,38	3,12	2,47	2,04	1,45	1,13
100	80	38,2	25,6	18,3	15,3	11	8,70	6,25	4,92	4,08	2,9	2,26
150	120	57,3	38,6	27,4	23	16,5	13,1	9,4	7,4	6,12	4,35	3,4
200	160	76,4	51,4	36,6	30,6	22	17,5	12,5	9,84	8,16	5,8	4,52
300	240	114,6	77,2	54,8	46	33	26,2	18,8	14,8	12,24	8,7	6,8
500	400	191	128,5	91,5	76,6	55	43,8	31,2	24,6	20,4	14,5	11,3
1000	800	382	257	183	153	110	87,5	62,5	49,2	40,8	29,0	22,6
	b) Diametrul exterior al electrodului $d = 0,022$ m											
50	36,4	17,95	12	8,65	7,3	5,3	4	3,1	2,375	1,97	1,4	1,1
100	72,8	35,9	24	17,30	14,6	10,6	8	6,3	4,75	3,94	2,8	2,2
150	109	53,85	36	26	21,9	15,9	13	9,4	7	5,9	4,2	3,3
200	145,6	71,8	48	34,6	29,2	21,2	16	12,6	9,5	7,88	5,6	4,4
300	218	117,7	72	51,9	43,8	31,8	24	18,9	14	11,8	8,4	6,6
500	364	179	120	86,5	73	53	10	31	23,8	19,7	14	11
1000	728	359	240	173	146	106	80	63	47,5	39,4	28	22

si

$$r_p = 0,366 \frac{\rho}{l} \lg \frac{8l^2}{\pi bt} = 0,366 \frac{\rho}{l} \left(\lg \frac{2l^2}{bt} + 0,1055 \right) \quad (1.14)$$

k) Pentru prizele din placi asezate orizontal pe suprafata solului:

$$r_p = 0,444 \frac{\rho}{\sqrt{S}} \quad (1.15)$$

În cazul placilor patrute cu latura a, aceasta relatie devine $r_p = 0,444 \frac{\rho}{a}$, iar în cazul placilorcirculare $r_p = \frac{\rho}{2D}$, unde D este diametrul placii.

Aceste formule se folosesc în special la prizele de pamânt cu placi asezate la nivelul suprafetei solului, cum ar fi placile metalice îngropate la adâncime mica pentru dirijarea distributiei potentialelor, placile de beton armat etc.

i) Pentru priza cu electrod semisferic având diametrul D (fig.A.1.9)

Figura A.1.9 prezinta o priza simpla cu electrod semisferic:

$$r_p = \frac{\rho}{\pi D} \quad (1.16)$$

Aceasta relatie se foloseste, de asemenea, pentru determinarea unor prize, de cele mai multe ori naturale (de exemplu: fundatii de beton armat) care se pot asimila cu un electrod semisferic.

În tabelele A.1.7, A.1.8 si A.1.9 se prezinta relatiile de calcul ale rezistentelor prizelor de pamânt de diferite forme în sol omogen cu rezistivitatea ρ , conform STAS 12604/5-90.

Tabelul A.1.7

Calculul rezistentelor pentru prize simple verticale conform STAS 12604/5-90

Felul electrodului prizei simple verticale	Formula de calcul a rezistentei de dispersie a prizelor simple verticale
1	2
Teava cu partea superioara la nivelul suprafetei solului si diametrul tevii mult mai mic decât lungimea ei, $d \leq l$	$r_{pv} = 0,366 \frac{\rho}{l} \lg \frac{4l}{d}$ $r_{pv} = 0,9 \frac{\rho}{l} \quad *)$
Teava îngropata la adâncimea t: $t = q + l/2$	$r_{pt} = 0,366 \frac{\rho}{l} \left(\lg \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t+l}{4t-l} \right)$
Bara cu sectiunea dreptunghiulara: - la nivelul solului;	$r_{pv} = 0,366 \frac{\rho}{l} \lg \frac{8l}{b}$
- îngropata la adâncimea t: $t = q + l/2$	$r_{pt} = 0,366 \frac{\rho}{l} \left(\lg \frac{4l}{b} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t+l}{4t-l} \right)$
Placa de forma neregulata îngropata la adâncimea t: $t = q + b/2$	$r_{pt} = \frac{\rho}{8\sqrt{\frac{S}{\pi}}} \left(1 + \frac{2}{\pi} \arcsin \sqrt{\frac{\frac{S}{\pi}}{4t^2 + \frac{S}{\pi}}} \right)$

Placa patrata îngropata la adâncimea: $t = q + a/2$	$r_{pt} = 0,222 \frac{\rho}{a} \left(1 + 0,637 \arcsin \sqrt{\frac{1}{1 + \pi \left(1 + \frac{2q}{2} \right)^2}} \right)$ $r_{pt} = 0,25 \frac{\rho}{a} \text{ **)}$
Placa circulara îngropata la adâncimea: $t = q + D/2$	$r_{pt} = 0,25 \frac{\rho}{D} \left(1 + 0,637 \arcsin \sqrt{\frac{1}{1 + \left(\frac{4t}{D} \right)^2}} \right)$

în care:

ρ este rezistivitatea de calcul a solului, în Ωm ;

l - lungimea electrodului, în m;

b - latimea barei, în m;

d - diametrul exterior al tevii, în m;

q - distanta de la partea superioara a electrodului pâna la suprafata solului, în m;

S - aria unei fete a placii, în m^2 ;

a - latura placii patrute, în m;

D - diametrul placii circulare, în m;

r_{pv} - rezistenta de dispersie a prizei simple având partea superioara la nivelul suprafetei solului;

r_{pt} - rezistenta de dispersie a prizei simple având partea superioara la adâncimea q .

*) formula simplificata, cu aproximatie acceptabila pentru $l = 1 - 6$ m

**) formula simplificata cu aproximatie acceptabila.

Tabelul A.1.8

Calculul rezistentelor pentru prizele orizontale, conform STAS 12604/5-90

Felul electrodului prizei simple orizontale	Formula de calcul a rezistentei de dispersie a prizelor simple orizontale
1	2
Teava (sau profil rotund) asezata orizontal la nivelul suprafetei solului	$r_{po} = 0,732 \frac{\rho}{l} \lg \frac{2l}{d}$
Teava (sau profil rotund) îngropata orizontal la adâncimea q	$r_{pq} = 0,366 \frac{\rho}{l} \lg \frac{l^2}{qd}$ $r_{pq} = 2 \frac{\rho}{l} \text{ *)}$
Bara cu sectiune dreptunghiulara asezata: - la suprafata;	$r_{po} = 0,732 \frac{\rho}{l} \lg \frac{4l}{b}$
- la adâncimea q ;	$r_{pq} = 0,366 \frac{\rho}{l} \lg \frac{2l^2}{bq}$
Electrod inelar cu sectiune circulara asezat orizontal: - la suprafata;	$r_{po} = 0,732 \frac{\rho}{l} \lg \frac{8l}{\pi d}$
- la adâncimea q ;	$r_{pq} = 0,366 \frac{\rho}{l} \lg \frac{4l^2}{\pi qd}$

Electrod inelar cu sectiune dreptunghiulara asezat: - la suprafata;	$r_{po} = 0,732 \frac{\rho}{l} \lg \frac{16l}{\pi b}$
- la adâncimea q;	$r_{pq} = 0,366 \frac{\rho}{l} \lg \frac{8l^2}{\pi b q}$
Placa asezata pe suprafata solului	$r_{po} = 0,44 \frac{\rho}{\sqrt{S}}$
Placa circulara asezata pe suprafata solului	$r_{po} = \frac{\rho}{2D}$
Electrod semisferic îngropat, cu o suprafata circulara (baza) la nivelul suprafetei solului	$r_{po} = \frac{\rho}{\pi D}$

în care:

r_{po} este rezistenta de dispersie a prizei simple la suprafata solului;

r_{pq} - rezistenta de dispersie a prizei simple la adâncimea q;

ρ - rezistivitatea de calcul a solului, în Ωm ;

d - diametrul electrodului, în m;

b - latimea barei, în m;

l - lungimea electrodului, în m;

S - suprafata placii, în m^2 ;

D - diametrul placii, în m;

q - adâncimea de îngropare a prizei orizontale, în m.

*) formula simplificata, cu aproximatie acceptabila pentru $l = 10 - 25m$ si $d \cong 0,016m$.

În toate relatiile de mai sus ρ reprezinta rezistivitatea de calcul a solului, care este diferita de rezistivitatea masurata ρ_{mas} . Pentru obtinerea rezistivitatii de calcul ρ , se înmulteste rezistivitatea ρ_{mas} cu coeficientul de variatie ψ dat în tabelul A.1.10, în functie de starea de umiditate a pamântului si de adâncimea de îngropare a electrozilor:

$$\rho = \rho_{mas} \cdot \psi$$

Se observa ca acei coeficienti care corespund starii umede sunt mai mari decât cei care corespund starii uscate a solului.

Daca se iau în considerare coeficientii de variatie ψ pentru obtinerea valorii maxime a lui ρ nu este necesar sa se execute masurarea rezistivitatii solului numai în perioada de vara secetoasa.

De exemplu, daca se intentioneaza sa se execute o priza de pamânt cu electrozi verticali la adâncimi de îngropare ce depasesc 0,8 m, iar masurarea s-a facut când solul este foarte umed (masurarile au fost precedate de ploi bogate), din tabelul A.1.10 rezulta un coeficient $\psi = 1,5$. Presupunând ca la masurare a rezultat o rezistivitate $\rho_{mas} = 75 \Omega m$, în calcule se va considera $\rho = \rho_{mas} \cdot \psi = 75 \times 1,5 = 112,5 \Omega m$. Daca în acest exemplu, la dimensionarea prizei se considera drept electrozi ai prizei si benzile de legatura dintre electrozii verticali, la calculul rezistentei de dispersie a acestor prize orizontale care au adâncimea de îngropare între 0,5 si 0,8 m se va lua din tabelul A.1.10 $\psi = 3$, rezultând pentru benzile orizontale de legatura $\rho = 75 \times 3 = 225 \Omega m$.

Calculul simplificat al rezistențelor pentru prize de pământ de diferite forme, în sol omogen cu rezistivitatea ρ

Tipul electrodului	Vedere laterala	Vedere de sus	Formula de calcul
Sfera la suprafata			$R = \frac{\rho}{\pi D}$
Sfera îngropata			$R = \frac{\rho}{\pi D} \left(0,5 + \frac{D}{8h} \right)$ 1)
Placa la suprafata			$R = \frac{\rho}{2D}$ 2)
Placa îngropata			$R = \frac{\rho}{2D} \left(0,5 + \frac{D}{4\pi h} \right)$ 2) ; 3)
Electrod vertical la suprafata			$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\text{Ln} \frac{8L}{D} - 1 \right) = \frac{\rho}{2\pi L} \text{Ln} \frac{4L}{1,36 \cdot d}$ 4)
Electrod vertical îngropat			$R = \frac{\rho}{2\pi L} \text{Ln} \frac{4L}{1,36d} \cdot \frac{2h+L}{4h+L}$ 4)
Banda la suprafata			$R = \frac{\rho}{\pi L} \text{Ln} \frac{2L}{1,36 \cdot d}$ 4)
Banda îngropata			$R = \frac{\rho}{2\pi L} \text{Ln} \frac{L^2}{1,85 \cdot hd}$ 5)
Doua benzi la suprafata			$R = \frac{\rho}{\pi L} \text{Ln} \frac{L^2}{2 \cdot 1,85 \cdot da}$ 6)
Doua benzi îngropate			$R = \frac{\rho}{2\pi L} \text{Ln} \frac{L^4}{16 \cdot 3,42hdA}$; $A = \sqrt{a^2 + 4h^2}$
Inel la suprafata			$R = \frac{\rho}{\pi^2 D} \text{Ln} \frac{8D}{d} = \frac{\rho}{\pi L} \text{Ln} \frac{2L}{0,785 \cdot d}$ 4)
Inel îngropat			$R = \frac{\rho}{2\pi^2 D} \text{Ln} \frac{16D^2}{hd} = \frac{\rho}{2\pi L} \text{Ln} \frac{L^2}{0,617 \cdot hd}$ 5)
Doua benzi îngropate			$R = \frac{\rho}{2\pi L} \text{Ln} \frac{L^2}{1,27 \cdot hd}$ 5)
Trei benzi îngropate			$R = \frac{\rho}{2\pi L} \text{Ln} \frac{L^2}{0,767 \cdot hd}$ 5)
Patru benzi îngropate			$R = \frac{\rho}{2\pi L} \text{Ln} \frac{L^2}{0,217 \cdot hd}$ 5)
Sase benzi îngropate			$R = \frac{\rho}{2\pi L} \text{Ln} \frac{L^2 \cdot 10^3}{9,42 \cdot hd}$ 5)
Opt benzi îngropate			$R = \frac{\rho}{2\pi L} \text{Ln} \frac{L^2 \cdot 10^4}{2,69 \cdot hd}$ 5)
Gratar (grila) îngropat			$R = \frac{\rho}{2D} + \frac{\rho}{L}$ 7)

1) $D < h$ 2) $S \ll D$ 3) $D < 2h$ 4) $d \ll L$ 5) $d \ll 4h \ll L/n$ 6) $d \ll a \ll L/n$ 7) $h \ll D$

Coeficientii de variatie ψ a rezistivitatii solului

Nr. crt.	Adâncimea de îngropare a electrozilor h (m)	Starea solului în momentul măsurării		
		Foarte umed	Cu umiditate mijlocie	Uscat
1	0,3 < h ≤ 0,5 m	6,5	5	3,5
2	0,5 < h ≤ 0,8 m	3	2	1,5
3	0,8 < h ≤ 4 m	1,5	1,3	1,1
4	h > 4 m	1,2	1,1	1,0

Acelasi lucru se poate spune si în cazul verificarii rezistentei prizei de pamânt. Chiar daca s-ar intentiona sa se masoare primavara, nu exista siguranta ca în momentul măsurării priza prezinta rezistenta cea mai mare. Mai rational este sa se stabileasca starea de umiditate a solului la masurare, iar valoarea determinata sa se înmulteasca cu coeficientul ψ :

$$R_p = R_{p_{mas}} \cdot \psi \quad (1.18)$$

Se considera valoarea ψ corespunzatoare electrozilor care au contributia cea mai mare la determinarea rezistentei de dispersie rezultanta a prizei de pamânt complexe.

Valoarea R_p astfel obtinuta va fi sub limita maxima admisa.

De exemplu, rezistenta prizei de pamânt trebuie sa fie $R_p = 4\Omega$. La verificare, solul avea umiditate medie, iar rezistenta a rezultat $R_{p_{mas}} = 3,0 \Omega$.

Daca priza este construita cu electrozi verticali cu adâncimea de îngropare peste 0,8 m, din tabelul A.1.10 rezulta $\psi = 1,3$ si deci, rezistenta de dispersie corespunde, deoarece:

$$R_p = R_{p_{mas}} \cdot \psi = 3,0 \times 1,3 = 3,9 < 4 \Omega.$$

Daca nu se dispune de rezultatele unor masurari directe ale rezistivitatii solului, pentru calcule prealabile, în relatiile rezistentelor de dispersie se pot folosi valorile din STAS 12604/5-90, în functie de natura solului, precizata prin referatul geotehnic. Totodata, este necesar sa se masoare rezistenta obtinuta dupa executarea prizei.

La dimensionarea instalatiilor de legare la pamânt de mare extindere pentru centrale, statii, puncte de alimentare si posturi de transformare, se vor determina în prealabil rezistivitatile de calcul ale straturilor solului din terenul în care se îngroapa electrozii prizelor. Valorile rezistivitatilor diferitelor straturi vor fi predate proiectantului o data cu studiul (referatul) geotehnic pentru obiectul respectiv. În acest studiu (referat) vor fi cuprinse rezistivitatile de calcul pentru straturile pâna la o adâncime de 20 m, însa cel putin 2 straturi (de la suprafata solului în adâncime) si pentru cel putin 40 puncte diferite de pe suprafata teritoriului respectiv. De asemenea, se va indica rezistivitatea medie de calcul cel putin a structurilor pâna la o adâncime de 5m. În cazul centralelor electrice si a statiilor de 400 kV trebuie sa se determine totdeauna rezistivitatea solului prin masurari.

A.1.5. Pentru cazul prizelor de pamânt multiple orizontale cu electrozi dispusi radiali sau sub forma de benzi paralele, coeficientii de utilizare sunt indicati în STAS 12604/5-90.

Daca conductoarele de legatura dintre prizele verticale sunt considerate prize orizontale, constituind astfel, împreuna cu cele verticale o priza complexa, atât coeficientii de utilizare pentru prizele verticale cât si cei pentru prizele orizontale se vor lua din tabelul A.1.1 din prezenta lucrare.

A.1.6. Prizele de pamânt orizontale, destinate dirijarii distributiei potentialelor, împreuna cu diferitele prize naturale cu care sunt în contact electric (constructii de beton armat, conducte, învelisuri metalice ale cablurilor etc, aflate pe întinderea respectiva), constituie o priza complexa, care se poate asimila pentru calculele acoperitoare privind rezistenta de trecere la pamânt cu o priza dintr-o placa asezata pe suprafata solului si având dimensiunile suprafetei ocupate cu prizele pentru dirijarea distributiei potentialelor, folosindu-se relatia:

$$R_{pd} = 0,444 \cdot \frac{\rho}{\sqrt{S}} \quad (1.19)$$

unde:

ρ este rezistivitatea solului (Ωm);

S - suprafata (m^2).

Pentru calcularea rezistenței de trecere la pământ a prizei de pământ complexe în care se include și o priză de pământ artificială, se considera un coeficient de utilizare $\eta = 0,8$ și, deci, relația de mai sus devine:

$$R_{pd} = 0,56 \frac{\rho}{\sqrt{S}} \quad (1.20)$$

A.1.7. Pentru aprecierea rezistenței de trecere la pământ a prizelor de pământ naturale, acestea se asimilează cu prizele de pământ artificiale de forme asemănătoare, folosindu-se formulele de calcul din STAS 12604/5-90, pentru prizele singulare și cele indicate mai sus pentru prizele multiple sau complexe.

A.1.8. În cazul construcțiilor de beton armat în contact cu pământul, pentru un calcul acoperitor, fie ca se va majora cu 25 % rezistența rezultată, considerând dimensiunile reale ale acestora, fie ca dimensiunile considerate în relațiile folosite se vor obține scăzându-se grosimea betonului dintre armatura metalică periferică și sol.

Exemple:

- O fundație de beton armat, în forma unui paralelipiped, cu diferențe relativ mici între dimensiunile acestuia, se poate asimila cu un electrod semisferic având un diametru echivalent.
- Un pilon de beton armat se poate asimila cu un electrod vertical având capatul superior la suprafața solului (se considera lungimea porțiunii îngropate a pilonului).
- Mai multe prize naturale care ocupă o anumită suprafață (conduțe metalice, fundații de beton armat, învelisuri metalice ale unor cabluri, etc.) constituie o priză completă care se poate asambla cu o priză dintr-o placă așezată pe suprafața solului.
- Conduțele metalice se pot asimila cu prizele orizontale de suprafață.

Rezistența de trecere la pământ a unei prize de pământ, constituită dintr-un obiect lung în contact cu pământul (conduțe, sine de cale ferată, învelisuri metalice ale unor cabluri etc.), se poate determina cu relația:

$$R_p = \sqrt{r \cdot r_p} \cdot \operatorname{ctgh} \left(\sqrt{\frac{r}{r_p}} l \right) \quad (1.21)$$

unde:

r este rezistența longitudinală pe unitatea de lungime (Ω/km);

r_p - rezistența de trecere la pământ pe unitatea de lungime ($\Omega \cdot \text{km}$), în cazul unui electrod lung, orizontal, de secțiune circulară, având expresia:

$$r_p = 0,732 \cdot \frac{\rho}{10^3} \cdot \lg \frac{2 \cdot 10^3}{d}$$

în care:

d reprezintă diametrul electrodului (conduță, cablu etc.), în m;

l - lungimea electrodului (km).

Din relația (1.7) rezulta că începând de la o anumită lungime, rezistența de dispersie tinde lent către o anumită valoare limită.

În cazul cablurilor cu manta de plumb, această valoare limită este de $\approx 1,6 - 1,9 \Omega$.

La această valoare se ajunge practic cu o lungime de cablu de 1,5 km; la lungimi ale cablurilor de peste 500 m rezistența de dispersie scade foarte încet, deoarece la astfel de lungimi reactanța inductivă longitudinală prezintă valori însemnate.

Nu pot fi folosite drept prize de pământ naturale cablurile cu manta de aluminiu și nici cele cu manta de plumb, dacă au învelis exterior din PVC.

Prin obiectul lung va trece un curent:

$$I_{pc} = U_p \cdot \frac{1}{\sqrt{r \cdot r_p} \cdot \operatorname{ctgh} \left(\sqrt{\frac{r}{r_p}} l \right)} \quad (1.22)$$

unde:

U_p este potențialul la capatul obiectului lung, în care intra curentul de punere la pământ

(în general, U_p este tensiunea totala a instalatiei de legare la pamânt).

În cazul cablurilor trebuie sa se verifice daca densitatea de curent prin învelisul metalic este sub limita admisa (j_{admis}), pentru a nu se depasi temperatura maxima indicata pentru cablul respectiv:

$$j = \frac{I_p}{S} \leq j_{admis} \quad (1.23)$$

în care:

S este sectiunea învelisului metalic al cablului (la determinarea sectiunii nu se iau în considerare benzile care constituie armatura cablului).

În cazul învelisului de plumb, densitatea maxima admisibila este $j_{admis} = 50 \text{ A/mm}^2$.

A.1.9. Indiferent de calculele prealabile efectuate pentru aprecierea rezistentelor prizelor de pamânt naturale, este necesar ca aceste rezistente sa se verifice prin masurari.

A.1.10. În statiile si centralele de întindere foarte mare (peste 4 ha) la care pentru executarea instalatiilor de legare la pamânt s-au folosit toate prizele de pamânt naturale disponibile, precum si prizele de dirijare a distributiei potentialelor de întindere mare, nu mai este necesara, de regula, adaugarea (la prizele artificiale orizontale) de prize artificiale cu electrozi verticali din teava. Acestia din urma vor fi prevazuti numai în cazuri justificate, când solul prezinta rezistivitati mari care impun prize suplimentare de adâncime.

A.1.11. Instalatiile electrice aflate în conditii speciale, în general, sunt considerate urmatoarele:

- instalatiile electrice situate pe o suprafata de teren cu întindere redusa;
- instalatiile electrice situate pe un sol ale carui straturi superficiale au o rezistivitate mult mai mare decât straturile inferioare;
- instalatiile electrice situate pe un sol care are un strat superficial cu rezistivitate mica, urmat în adâncime de straturi cu rezistivitate mult mai mare.

În cazul instalatiilor electrice situate pe o suprafata de teren cu întindere redusa sau când straturile solului au o rezistivitate mare, se vor aplica în functie de conditiile specifice una sau mai multe din urmatoarele masuri:

- utilizarea pe scara cât mai larga a prizelor de pamânt naturale, existente în apropiere;
- utilizarea tuturor prizelor de pamânt din incinta respectiva;
- realizarea unor prize verticale de mare adâncime;
- înlocuirea cu materiale de rezistivitate mica a solului din imediata apropiere a electrozilor, ca de exemplu cu bentonita.

A.1.12. Drept electrozi pentru prizele de pamânt de mare adâncime se vor folosi tevi din otel cu $\varnothing \geq 80 \text{ mm}$, introduse în pamânt prin forare. Lungimea electrozilor prizei de pamânt de mare adâncime se determina în functie de rezistenta si suprafata electrozilor prizei care trebuie realizata, precum si de adâncimea la care se gasesc straturile cu rezistivitate mica.

În general, prizele de mare adâncime se vor executa când cheltuielile necesare pentru introducerea electrozilor lungi în straturile inferioare, cu rezistivitate mica, sunt mai mici decât cele necesare executarii unei prize de pamânt de aceeaasi rezistenta cu electrozii de lungime obisnuita, introdusi în stratul superior de rezistivitate mare.

A.1.13. Îmbunatatirea prizelor cu bentonita

Bentonitele sunt roci argiloase care s-au format prin alterarea cenusilor vulcanice si contin un procentaj mare de parti argiloase mineralifere, din grupa montmorilonitului. Acesta este un hidrosilicat de aluminiu cu urme de oxizi de fier, calciu, magneziu si alte metale.

Montmorilonitul curat are o granulatie foarte fina de 60 microni.

În stare naturala, bentonitele se prezinta ca roci usoare, de duritate mica, moi, friabile, poroase, de culoare alba cu nuante galbene, brune, verzui sau roze si contin 65 ... 85 % parti argiloase (montmorilonit). Cele cu continut mai mic de 65 % parti argiloase sunt considerate bentonite inferioare, iar cele cu continut mai mare de 85 % parti argiloase sunt considerate bentonite superioare.

Bentonitele brune vor fi prelucrate în vederea separarii partilor argiloase de partile nisipoase si alte impuritati.

În modul acesta se obtine așa numita "bentonita - liant", continând un procentaj de 90-95 % și chiar mai mare de parti argiloase (montmorilonit), care are proprietati deosebite, și anume:

- se prezinta ca o pulbere foarte fina (ca o faina) cu granulatia de 60 microni și mai mica, până la 20 microni; se obtine după trecerea printr-o sita de 0,063 mm;
- în amestec cu apa formeaza un gel coloidal în care apa este legata fizic și chimic, pastrându-se astfel foarte mult timp; amestecul cu apa prezinta o rezistivitate de 1 ... 5 Ωm;
- are o mare capacitate de absorbtie a apei; astfel, pentru obtinerea amestecului (gelului) sunt necesare 25 % bentonita - liant și 75 % apa (în greutate); pentru obtinerea unei tone de amestec sunt necesare 250 kg bentonita și 750 kg apa;
- are un grad foarte mare de umflare;
- are greutatea specifica mica 800 kg/m³ și chiar mai mica de la cele cu un continut mic de impuritati (poate ajunge la 600 kg/m³);
- amestecul are o mare stabilitate în timp și nu este antrenat de apele din pamânt;
- are pH mare, minim 8; la bentonitele sodice se ajunge la pH = 9-10, ceea ce face ca electrozii prizelor să fie foarte bine conservati; cu ajutorul bentonitei se poate obtine o protectie buna împotriva corodarii electrozilor, putându-se folosi în acest caz electrozi din otel negalvanizat.

Proprietatile deosebit de favorabile expuse mai sus fac ca bentonita-liant să fie indicata pentru îmbunatatirea prizelor de pamânt. Reducerea rezistentelor de dispersie este cu atât mai mare cu cât rezistivitatea solului înconjurator este mai mare fata de cea a bentonitei (1 - 5 Ωm). Astfel, la rezistivitati ale solului înconjurator de 150 ... 200 Ωm și mai mari se poate chiar neglija rezistenta R_s pe care ar prezenta-o amestecul de bentonita în raport cu rezistenta R_s a solului înconjurator.

Se recomanda ca bentonita - liant în stare uscata să fie amestecata cu 1 ... 5 % soda (raportat la greutatea în stare uscata) pentru a se obtine o rezistivitate mai mica, o omogenizare mai buna a amestecului bentonita - apa și pentru a se proteja mai bine electrozii împotriva coroziunii, deoarece se măreste valoarea pH-ului. O astfel de bentonita este indicata pentru protejarea electrozilor în cazul prezentei unor ape agresive, care ar putea să determine o coroziune rapida a electrozilor neprotejati.

Pentru obtinerea bentonitei - liant, bentonita bruta va fi macinata și trecuta prin mai multe site, ultima sita având dimensiunile de 0,063 mm. Sterilul (deseul), rezultat din prepararea bentonitei - liant, contine parti argiloase (levigabile) în procentaje mai mici chiar de 10 %, sau mai mari - până la 50 %, în functie de cât de bogata a fost roca bruta. La o bentonita bruta saraca și deseul este mai sarac.

Acest steril (deseu), îmbogătit astfel încât să contina peste 50 % parti argiloase în amestec cu soda pentru cresterea valorii pH-ului și pentru scaderea rezistivitatii amestecului cu apa sub 5 Ωm, a fost denumit "bentopriza", pentru utilizarea lui la îmbunatatirea prizelor de pamânt.

Bentopriza are un continut foarte mare de parti nisipoase și alte impuritati care fac să aiba greutatea specifica mai mare decât bentonita - liant (uneori peste 1000 kg/m³). Greutatea specifica este cu atât mai mare, cu cât continutul în parti argiloase este mai mic și invers. Astfel, la un continut de 55 % parti argiloase greutatea specifica este 900 kg/m³, iar la un continut de 30 % parti argiloase greutatea specifica depaseste 1000 kg/m³.

Bentopriza are un grad de umflare mai mic decât bentonita - liant. Se prezinta cu o granulatie mare, deoarece sterilul se obtine la site cu dimensiuni de 1 mm. Fata de bentonita - liant, "bentopriza" prezinta urmatoarele dezavantaje:

a) Are un continut mai mic de parti argiloase, fiind astfel necesara o cantitate mult mai mare pentru acelasi volum de amestec. Procentul de bentopriza în amestec este cu atât mai mare, cu cât continutul de parti argiloase este mai mic; în cazul unei bentoprize cu 50-60 % parti argiloase, pentru un amestec de 1 m³ ar fi necesare 400 kg bentopriza și 600 kg apa; cu un cost comparabil cu costul în situatia în care se foloseste bentonita - liant.

b) Amestecul cu bentonita având un continut de apa mai mic și stabilitatea în timp a rezistivitatii este mai mica decât în cazul bentonitei - liant; exista riscul ca în perioada de seceta să se piarda mai rapid apa și din solul din imediata vecinatate a prizei, crescând astfel rezistivitatea acestuia și, deci, rezistenta de dispersie a prizei de pamânt.

c) În cazul bentoprizei cu continut mic de parti argiloase și, deci, cu o cantitate mare de parti nisipoase, exista riscul ca într-un timp scurt să fie antrenata și să fie integrata în masa mare a solului înconjurator.

Tinându-se seama de cele precizate mai sus, este necesar ca la folosirea bentoprizei pentru îmbunătățirea prizelor de pamânt sa se aiba în vedere ca aceasta sa contina cel puțin 50 % parti argiloase (levigabile) de granulație fina; se recomanda ca acest procentaj de parti argiloase sa fie cât mai mare si cu o granulație corespunzătoare; de asemenea, trebuie ca $pH \geq 8,5$ si $\rho = 5 \Omega m$. Aceste conditii trebuie sa figureze în proiect si în documentatia de procurare si de livrare. Se vor respecta prevederile STAS 12604/5-90.

În cazul statiilor de transformare si conexiuni unde se impune o stabilitate mare pentru prizele de pamânt si la care durata de functionare a acestora este mare, este de preferat sa se foloseasca bentonita-liant cu un continut de cel puțin 90 % parti argiloase de granulație fina (rezultata la sita de 0,063 mm). Aceasta bentonita-liant urmeaza sa fie amestecata cu 1-5% soda, pe santier sau la unitatea de prepararea bentonitei-liant în vederea obtinerii unui $pH \geq 9$ pentru o protectie a electrozilor împotriva corodării, precum si a unei rezistivitati de 2 ... 5 Ωm .

În situatia în care nu se poate procura bentonita-liant, se admite folosirea bentoprizei, însa numai daca îndeplineste conditiile de mai sus privind continutul de parti argiloase (levigabile). Este necesar ca înainte de folosire sa se verifice calitatea bentoprizei. Concentratia maxima de bentopriza în amestec cu apa trebuie sa fie 0,7 la 1 l de apa pentru formarea gelului. Astfel, la 1000 l de apa trebuie sa se consume cel mult 700 kg de bentopriza; daca este necesara o cantitate mai mare de bentopriza, înseamna ca sortul respectiv este necorespunzator. De asemenea sortul se considera necorespunzator daca nu se poate obtine un amestec sub forma de gel.

A.1.14. Modul de calcul al rezistentelor de dispersie ale prizelor cu bentonita

Datorita rezistivitatii reduse a amestecului de bentonita cu apa (2 - 5 Ωm), mult mai mica decât a solului înconjurator care depaseste 100 Ωm , prevederea de bentonita în imediata apropiere a electrodului are practic efectul maririi artificiale a dimensiunilor acestuia.

De exemplu, daca în jurul unui electrod din teava de 2" (60 mm) se prevede un amestec cu bentonita sau bentopriza într-o groapa cu diametrul de 600 mm, se poate considera ca se obtine rezistenta de dispersie unui electrod constituit dintr-un cilindru având un diametru de 600 mm, ceea

$$\text{ce înseamna } R_{pb} \leq \frac{1}{2} \cdot R_p \quad (1.24)$$

Se tinde ca prin prevederea amestecului de bentonita cu apa sa se obtina cresterea diametrului electrodului de 10 ori, în cazul electrozilor cu sectiune circulara.

În cazul electrozilor din banda sau alte profiluri similare, este indicat sa se obtina o crestere a latimii de cel puțin 10 ori. De exemplu, în cazul benzilor de 40 × 4 mm, sectiunea stratului de amestec de bentonita cu apa trebuie sa fie de 400 × 300 mm. În cazul benzilor de 50 × 8 mm sau 60 × 6 mm, sectiunea stratului de bentonita va fi în medie de 500 × 300 mm.

Din experimentari a rezultat ca prin prevederea amestecului de bentonita cu apa, într-o groapa, în jurul electrodului, rezistenta R_{pb} a scazut sub 0,5 R_p ; R_p fiind rezistenta de dispersie a prizei fara adaos de amestec cu bentonita.

Se observa ca rezistenta de dispersie reala este mai mica decât cea rezultata din calculul folosind formulele cunoscute ale prizelor de tipuri echivalente. Aceasta se explica prin faptul ca prin considerarea cresterii diametrului d (la electrozii cu sectiune circulara) sau a latimii b (la electrozii cu sectiune dreptunghiulara) de ordinul a 10 ori, nu se mai respecta conditia formulelor cunoscute $d \leq l$ si $b \leq l$. La electrozii din banda nu se mai poate considera în formule $d = 2b$, ci trebuie sa se considere $d \sim b$, datorita grosimii apreciabile a stratului de amestec 300 - 400 mm si, deci, formula prizelor orizontale care trebuie folosita este:

$$R_{pb} = 0,366 \frac{\rho}{l} \lg \frac{l^2}{tB} \quad (1.25)$$

unde B este latimea santului, care se umple cu amestec de bentonita cu apa. Rezistenta prizei fara bentonita ar fi:

$$r_p = 0,366 \frac{\rho}{l} \lg \frac{2l^2}{tb}$$

în care b este latimea electrodului.

Reducerea rezistenței prin prevederea bentonitei este $\Delta r_p = r_p - r_{pb}$; raportată la valoarea r_p se obține:

$$\frac{\Delta r_p}{r_p} = \frac{\lg \frac{2B}{b}}{\lg \frac{2l^2}{tb}} \quad (1.26)$$

Pentru $B = 10 b$; $l = 6 m$; $t = 0,8 m$ și $b = 0,04 m$ (cazurile obișnuite):

$$\frac{\Delta r_p}{r_p} = 0,4 \quad (1.27)$$

În realitate, datorită infiltrațiilor amestecului de bentonită cu apă în solul din jur care depășesc volumul considerat, reducerea este mai mare, și anume:

$$\frac{\Delta r_p}{r_p} = 0,5 \text{ (confirmată de practică)}$$

În cazul prizelor verticale, dacă diametrul gropii umplute cu amestec de bentonită cu apă este de același ordin de mărime cu lungimea electrodului, ca de exemplu $D = 0,6 m$ față de $l = 1,5-2,0 m$ este necesar să se asimileze priza cu una semisferică, având diametrul corespunzător unui volum echivalent V și:

$$r_{pb} = \frac{\rho}{\pi D} = \frac{\rho}{\pi \sqrt[3]{3D^2 \cdot l}} \quad (1.28)$$

Reducerea obținută este:

$$\Delta r_p = r_p - r_{pb}$$

$$\Delta r_p = 0,366 \frac{\rho}{l} \lg \left(\frac{2l}{d} \sqrt{\frac{4t+l}{4t-l}} \right) - \frac{\rho}{\pi \sqrt[3]{3D^2 \cdot l}} \quad (1.29)$$

iar raportată la r_p se obține:

$$\frac{\Delta r_p}{r_p} = 1 - \frac{\frac{\rho}{\pi \sqrt[3]{3D^2 \cdot l}}}{0,366 \frac{\rho}{l} \lg \left(\frac{2l}{d} \sqrt{\frac{4t+l}{4t-l}} \right)} \quad (1.30)$$

De exemplu, pentru:

$d = 0,09 m$; $D = 0,6 m$; $l = 2 m$; $t = 2 m$.

$$\frac{\Delta r_p}{r_p} = 0,45 \quad (1.31)$$

În realitate, datorită infiltrațiilor amestecului de bentonită cu apă în solul din jur care depășesc diametrul D considerat, reducerea este mai mare. Se poate considera $\frac{\Delta r_p}{r_p} = 0,5$ (confirmat și de rezultatele obținute la experimentari).

A.1.15. Modul de executare a prizelor de pământ cu bentonită

Bentonita activată cu sodă trebuie să fie amestecată înainte de turnare cu apă, după o anumită tehnologie, în vederea obținerii unui amestec foarte omogen. Amestecul se va prepara cu deosebită atenție, întrucât neobținerea omogenizării necesare conduce la rămânerea în amestec a unor părți de pulbere (cocoaloase) care măresc rezistența rezultantă. Se interzice varsarea bentonitei uscate direct în gropi sau în santuri și turnarea simplă a apei deasupra ei, deoarece în acest caz rezultă o rezistență foarte mare. De asemenea, rezultă o rezistență mai mare decât cea preconizată, dacă praful de bentonită se amestecă cu o cantitate insuficientă de apă.

Amestecarea trebuie să se facă într-un recipient de $\sim 200 l$. De asemenea, este indicat ca operația de omogenizare să fie mecanizată.

Dupa obtinerea amestecului perfect omogenizat sub forma de gel, acesta se va turna în gropile sau santurile executate în prealabil. Pentru prizele verticale se executa o groapa cu diametrul D stabilit, în care se va introduce electrodul vertical (în centrul gropii), dupa care se va introduce amestecul omogenizat de bentonita cu apa (sub forma de gel).

În cazul prizelor orizontale se executa santurile cu latimile si adâncimile stabilite, se introduc electrozii orizontali sprijiniti pe pietre sau pe bucati de caramida pentru a fi distantati de fundul santului la aproximativ jumătate din grosimea stabilita a stratului de amestec de bentonita cu apa, dupa care se toarna amestecul bine omogenizat pâna la obtinerea unui gel.

Umplerea gropii sau a santului se va face dupa cel puțin 6 ore, deoarece mai devreme nu are rezistenta necesara sa suporte pamântul de acoperire. Primul strat de acoperire de 12 - 20 cm trebuie sa fie fara pietre (bolovani).

În solurile pietroase (stâncoase), executarea gropilor se poate face prin puscarea (explozie). La un astfel de procedeu rezulta ramificatii (fisuri) în solul înconjurator în care patrunde amestecul de bentonita cu apa, ceea ce conduce la micșorarea accentuata a rezistentei de dispersie. Bineînțeles, se vor lua masuri ca la puscarea sa nu se produca accidente sau deteriorarea constructiilor din jur (de exemplu: fundatii de stâlpi sau cladiri).

A.1.16. Prize de pamânt, în soluri neomogene

Practica arata ca, în numeroase cazuri, solul nu este omogen si se prezinta în straturi care au deseori rezistivitati de valori apreciabile diferite, chiar de ordin de marime diferit. În astfel de situatii se vor determina, prin metode geoelectrice, straturile suprapuse ale solului cu rezistivitati diferite, se vor determina grosimile si rezistivitatile a cel puțin doua straturi suprapuse.

În relatiile de la A.1.4, A.1.6 si A.1.14 s-a considerat ca electrozii prizei sunt îngropati într-un semispatiu infinit, având peste tot aceeasi rezistivitate ρ , ceea ce în cazul unor straturi suprapuse de rezistivitati diferite nu corespunde realitatii. Erorile mari apar în special când sunt doua straturi la care raportul rezistivitatilor este foarte mare, ca de exemplu un strat de pamânt arabil sau argilos de grosime relativ mica (0,6 - 3 m) peste un strat de sol pietros (sau nisipos) de rezistivitate mare.

Se introduce notiunea de rezistenta geometrica a prizei de pamânt, care se noteaza cu R_g . Ea reprezinta o marime caracteristica invariabila, pentru dispozitii de prize geometrice similare. Marimea este determinata numai de geometria dispozitiei prizelor si independent de rezistivitatea solului sau de lungimea de referinta L . Marimea R_g se poate exprima:

$$R_g = R_p \cdot \frac{L}{\rho} \quad (1.32)$$

Pentru solurile omogene, marimile se vor marca cu indicele h , astfel:

$$R_{ph} = R_{gh} \cdot \frac{\rho h}{L} \quad (1.33)$$

Într-un sol cu doua sau mai multe straturi având rezistivitati diferite $\rho_1 \dots \rho_2$, la trecerea curentului prin priza, potentialul unui punct P al spatiului sau al prizei φ_p poate fi considerat ca este constituit dintr-un potential primar φ_{ph} , care s-ar produce daca semispatiul infinit ar fi umplut cu un sol omogen având rezistivitatea $\rho = \rho_h = \rho_1$ al unuia din straturile luate ca referinta si un potential secundar φ_{ps} produs datorita neomogenitatii solului:

$$\varphi_p = \varphi_{ph} + \varphi_{ps} \quad (1.34)$$

De aici rezulta relatia:

$$R_g = R_{gh} + R_{gs} \quad (1.35)$$

unde R_{gs} este rezistenta secundara (de corectie) datorita neomogenitatii solului, care modifica rezistenta geometrica determinata cu relatiile pentru soluri omogene R_{gh} .

R_{gs} are valori pozitive daca rezistivitatea stratului inferior este mai mare decât cea a stratului luat ca referinta.

Pentru simplificarea calculului, ce urmeaza sa fie efectuate în vederea dimensionarii instalatiilor de legare la pamânt, este necesar ca pentru diferite cazuri de neomogenitati si tipuri de prize de pamânt sa se determine separat rezistenta geometrica pentru dispunerea în sol omogen R_{gh} si, separat, rezistenta geometrica suplimentara R_{gs} de corectie datorata neomogenitatii solului.

O alta posibilitate consta în obtinerea directa a valorii R_p din relatia $R_p = KR_{ph}$, unde R_{ph} este rezistenta corespunzatoare cazului când tot solul ar avea rezistenta de referinta ρ_1 a stratului superior, iar:

$$K = \frac{R_p}{R_{ph}}, \text{ raport determinat pentru tipul respectiv de priza de pamânt.}$$

Priza cu electrod orizontal tip banda

Pentru o priza alcatuita dintr-un electrod orizontal, tip banda, dispus în stratul superior, cu ρ_1 , valorile R_{gs} sunt reprezentate de curba din figura A.1.10 în functie de raportul $\frac{h}{l}$ si raportul:

$$k = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1} \text{ (factorul de refractie).}$$

Se considera ca adâncimea de îngropare a electrodului $t < h$ si diametrul (sau grosimea) electrodului $d \leq l$.

Curbele din figura A.1.10 indica valorile R_{gs} pentru cazul când $\rho_2 > \rho_1$, deci pentru $0 < k < 1$. Valorile rezistentei geometrice suplimentare sunt pozitive $R_{gs} > 0$ si se adauga, deci, la valoarea R_{gh} calculata pentru solul omogen cu rezistivitatea ρ_1 .

Fig.A.1.10. Curbele de variatie ale rezistentei geometrice suplimentare R_{gs} pentru prizele cu electrod orizontal tip banda, în sol neomogen cu doua straturi de rezistivitati ρ_1 si ρ_2 , în functie de raportul $\frac{h}{l}$; parametrul de variatie este:

$$k = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1}, \text{ unde } \rho_2 > \rho_1$$

Exemplu: o priza orizontala din otel rotund $\Phi 14$, îngropata la $t = 0,6$ m si având $d = 0,014$ m: $\rho_1 = 100 \Omega\text{m}$; $\rho_2 = 700 \Omega\text{m}$; $h = 3$ m si $l = 30$ m.

Rezulta:

$$k = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1} = \frac{600}{800} = 0,75; \quad \frac{h}{l} = 0,1$$

$$R_{gh} = \frac{R_{ph} \cdot l}{\rho_1} \text{ iar din figura A.1.10 rezulta } R_{gs} = 1,8.$$

$$R_g = R_{gh} + R_{gs}$$

$$R_g = \frac{R_{ph} \cdot l}{\rho_1} + 1,8$$

si
$$R_p = R_g \cdot \frac{\rho_1}{l}$$

Rezulta:

$$R_p = R_{ph} + 1,8 \frac{\rho_1}{l}$$

Conform relatiei (1.9) de la A.1.4 pentru $\rho_1 = 100 \Omega\text{m}$ si $l = 30$ m.

$$R_{ph} = 6,13 \Omega$$

Deci:
$$R_p = 6,13 + 1,7 \cdot \frac{100}{30}$$

$$R_p = 6,13 + 6 = 12,13 \Omega.$$

Dupa cum se observa, în cazul în care influenta stratului inferior nu a fost luata în considerare eroarea de calcul este deosebit de mare, si anume:

$$\Delta R_p = 6 \Omega, \text{ ceea ce reprezinta } \sim 50 \% \text{ din valoarea reala } R_p = 12,13 \Omega.$$

Daca în exemplul de mai sus se ia $l = 75$ m, rezulta $R_{gs} = 3,0$ și $R_{ph} = 2,84$ iar:

$$R_p = 2,84 + 3 \cdot \frac{100}{75}$$

$$R_p = 2,84 + 4 = 6,84 \Omega.$$

În tabelul A.1.11 se dau valorile R_p , ținând seama de influența stratului inferior pentru diferite lungimi "l" ale electrodului orizontal, în comparație cu R_{ph} , când nu se ține seama de rezistivitatea ρ_2 a stratului inferior.

Tabelul A.1.11

Prize orizontale

Exemplu:

$$\rho_1 = 100 \Omega\text{m}; \quad \rho_2 = 700 \Omega\text{m}; \quad k = 0,75; \quad h = 3 \text{ m}$$

l (m)	1	3	5	10	15	20	30	40	50	60
$R_{ph} (\Omega)$	76	37	25,4	14,90	10,8	8,55	6,13	4,78	3,8	2,84
$R_p (\Omega)$	81	44,3	32,8	21,90	17,2	15,55	12,13	9,98	8,6	6,84
$R_{ps} (\Omega)$	5	7,3	7,4	7,00	6,4	7,0	6,0	5,20	4,80	4,00
Eroare	6 %	16,5%	22,6%	32%	37,1%	45%	49,5%	52,1%	55,8%	58,5%

$$\text{În tabel, } R_{ps} = R_{gs} \cdot \frac{\rho_1}{l}$$

Din tabel rezulta că în exemplul considerat, erorile în minus cresc accentuat pe măsura creșterii lungimii electrodului. Astfel, pentru un electrod de 1 m eroarea este de numai 6 %, pe când în cazul unui electrod de 75 m eroarea ajunge la aproape 60 % din valoarea reală, dacă nu se ține seama de influența stratului inferior mai rău conductor (pentru exemplul considerat).

În figura A.1.11 se reprezintă raportul $K = \frac{R_p}{R_{ph}}$ pentru electrozii orizontali din banda.

Raportul dintre rezistența de dispersie reală R_p și rezistența de dispersie a prizei respective, într-un sol omogen cu rezistivitatea ρ_1 a stratului superior, este egal cu raportul dintre o rezistivitate echivalentă ρ_e a unui sol omogen, în care priza dată ar prezenta R_p și rezistivitatea ρ_1 :

$$\frac{R_p}{R_{ph}} = \frac{\rho_e}{\rho_1} \quad (1.36)$$

Determinându-se din această relație valoarea lui ρ_e , este posibilă dimensionarea instalației de legare la pământ, folosindu-se relațiile cunoscute pentru solul omogen în care rezistivitatea de calcul va fi:

$$\rho_e = \rho_1 \cdot \frac{R_p}{R_{ph}} \quad (1.37)$$

dacă se cunoaște raportul $\frac{R_p}{R_{ph}}$ pentru tipul respectiv de priză într-un sol având o anumită omogenitate.

În figura A.1.11 sunt prezentate curbele de variație ale raportului $\frac{R_p}{R_{ph}} = \frac{\rho_e}{\rho_1}$ în funcție de raportul

$\frac{h}{l}$ pentru prizele orizontale din electrod tip banda, în sol neomogen cu două straturi; parametrul de

$$\text{variație } k = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1} \text{ iar } \frac{l^2}{dt} = 25 \cdot 10^4.$$

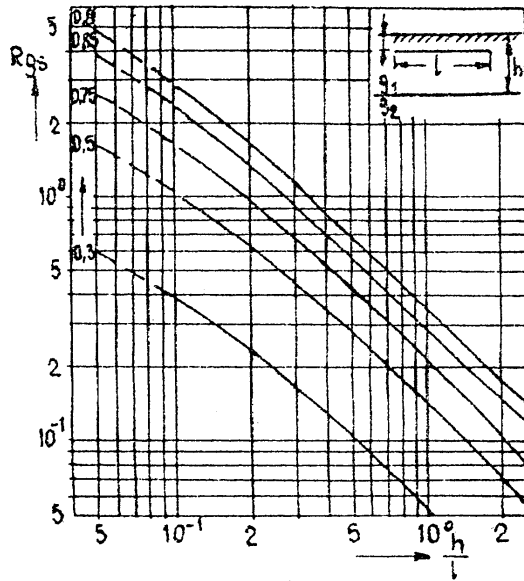


Figura A.1.10- Curbele de variatie ale rezistentei geometrice suplimentare R_{gs} pentru prize cu electrod orizontal tip banda, în sol neomogen cu doua straturi de rezistivitati ρ_1 si ρ_2 în functie de raportul $\frac{h}{l}$;

parametrul de variatie este $k = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1}$ unde $\rho_1 \leq \rho_2$.

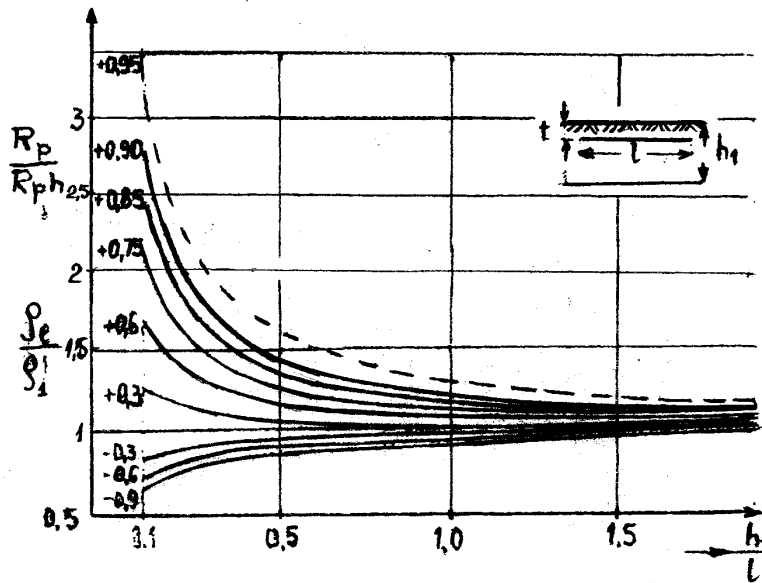


Figura A.1.11- Curbele de variatie ale raportului $\frac{R_p}{R_{ph25}} = \frac{\rho_0}{\rho_1}$ în functie de raportul $\frac{h}{l}$ pentru prize orizontale

din electrod tip banda, în sol neomogen cu doua straturi; parametrul de variatie este

$$k = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1}, \text{ iar } \frac{l^2}{dt} = 25 \cdot 10^4$$

straturi ρ_1 si ρ_2 stratul superior având grosimea h pentru o priza constituita dintr-un electrod vertical de lungime l si diametrul d , îngropat în stratul superior, în functie de $\frac{h}{l}$ si pentru $\frac{l}{d} = 50$, (de

exemplu: $l = 3$ m și $d = 0,06$ m), parametrul de variație fiind, de asemenea, factorul de refracție

$$k = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1}.$$

De exemplu, $\rho_1 = 100 \Omega\text{m}$; $\rho_2 = 700 \Omega\text{m}$; $h = 6$ m; $l = 3$ m; $\frac{h}{l} = 2$ și $\frac{l}{d} = 60$.

Rezulta:

$$k = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1} = \frac{700 - 100}{700 + 100} = 0,75;$$

$$\frac{R_p}{R_{ph}} = 1,14; \quad R_{ph} = 0,366 \cdot \frac{\rho}{l} \lg \frac{4l}{d}$$

$$R_{ph} = 28 \Omega; \quad R_p = 1,14 \times 28 = 31,92 \Omega$$

În tabelul A.1.12 se dau valorile R_p , ținându-se seama de influența stratului inferior pentru diferite grosimi ale stratului superior h (în exemplul de mai sus).

Tabelul A.1.12

Prize verticale

Exemplu: $\rho_1 = 100 \Omega\text{m}$; $\rho_2 = 700 \Omega\text{m}$; $l = 3$ m; $\frac{l}{d} = 60$

h	4	6	7,5	9	12	15	18	21	24
$R_{ph} (\Omega)$	28	28	28	28	28	28	28	28	28
R_p/R_{ph}	1,18	1,14	1,11	1,09	1,065	1,05	1,04	1,03	1,02
$R_p (\Omega)$	33	32	31	30,05	29,8	29,4	29,1	28,8	28,5

Se observa că în cazul prizelor de pământ verticale, cu electrozii îngropați în stratul superior, rezistența prizei în sol omogen diferă puțin față de valoarea rezistenței de dispersie, netinând seama de stratul inferior. Diferențele sunt mai apreciable pentru grosimi ale stratului superior până la 10 m.

În figura A.1.12 sunt prezentate curbele de variație ale raportului $\frac{R_p}{R_{ph}} = \frac{\rho_e}{\rho_1}$ în funcție de raportul

$\frac{h_1}{l}$ pentru prizele cu electrod vertical în sol neomogen cu două straturi; parametrul de variație:

$$K = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1}, \text{ iar } \frac{l}{d} = 60$$

Prizele complexe în forma de rețea

Rezistența de dispersie a prizelor în forma de rețea, în sol neomogen, depinde în afara de parametrii geometrici ai prizei și de rezistivitățile straturilor, grosimea acestora, suprafața ocupată de electrozii prizei și de adâncimea de îngropare. Un calcul cu formulele pentru sol omogen, considerând numai rezistivitatea unuia dintre straturi, poate duce la erori considerabile.

Pentru astfel de prize de pământ se determină rezistența din relația:

$$R_p = \frac{\rho_e}{\rho_1} R_{ph}, \quad (1.38)$$

unde: ρ_e este rezistivitatea echivalentă, presupunând că priza este în sol omogen.

Rezistivitatea ρ_e se poate obtine din curbele din figura A.1.13, în functie de raportul $\alpha = \frac{r}{h}$ (r - raza echivalenta si h - grosimea stratului superior); aici s-a facut aproximatia ca adâncimea de îngropare $t = \frac{h}{2}$, iar parametrul de variatie este raportul $\frac{\rho_2}{\rho_1}$.

De exemplu, pentru $\rho_1 = 100 \Omega\text{m}$ si $\rho_2 = 1000 \Omega\text{m}$, $r = 100 \text{ m}$, $h = 2 \text{ m}$ si $a = 5 \text{ m}$, rezulta:

$$\alpha = \frac{r}{h} = \frac{100}{2} = 50 \text{ si } \frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{1000}{100} = 10,$$

iar

$$N = \frac{\rho_e}{\rho_1} = 5 \text{ si } \frac{N}{\alpha} = 0,1$$

În figura A.1.13 se poate citi direct valoarea $\frac{N}{\alpha}$, urmarind diagonala care intersecteaza curba $\frac{\rho_2}{\rho_1} = 10$ în dreptul abscisei $\alpha = 50$.

În figura A.1.13 sunt prezentate curbele de variatie ale raporturilor $\frac{\rho_e}{\rho_1} = N$ si $\frac{N}{\alpha}$ în functie de raportul $\alpha = \frac{r}{h}$ pentru prizele de pamânt cu electrozi orizontali în forma de retea, în sol neomogen cu doua straturi; parametrul de variatie este raportul $\frac{\rho_2}{\rho_1}$.

În acest exemplu rezulta $\rho_e = N \cdot \rho_1 = 5 \times 100 = 500 \Omega\text{m}$.

Rezistenta de dispersie a unei prize în forma de retea, în sol omogen, se poate scrie astfel:

$$R_{ph} = \frac{\rho_1}{2\pi r} \left(\frac{\pi}{2} + 0,6 \cdot \frac{a}{r} \right). \text{ Deci, rezistenta în sol neomogen va fi:}$$

$$R_p = \frac{\rho_e}{2\pi r} \left(\frac{\pi}{2} + 0,6 \cdot \frac{a}{r} \right) = \frac{500}{2\pi \cdot 100} \left(\frac{\pi}{2} + \frac{3}{100} \right);$$

$$R_p = \frac{5}{4} + \frac{5 \times 3}{2\pi 100} = 1,275 \Omega$$

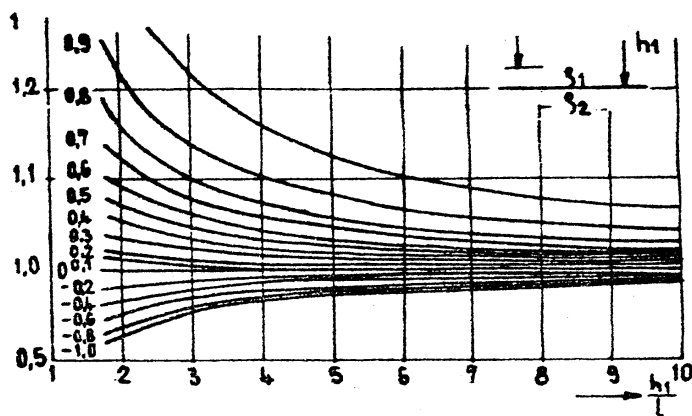


Figura A.1.12- Curbele de variatie ale raportului $\frac{R_p}{R_{ph}} = \frac{\rho_e}{\rho_1}$ în functie de raportul $\frac{h_1}{l}$ pentru prize cu electrod vertical, în sol neomogen cu doua straturi; parametrul de variatie este

$$k = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1}, \text{ iar } \frac{l}{d} = 60$$

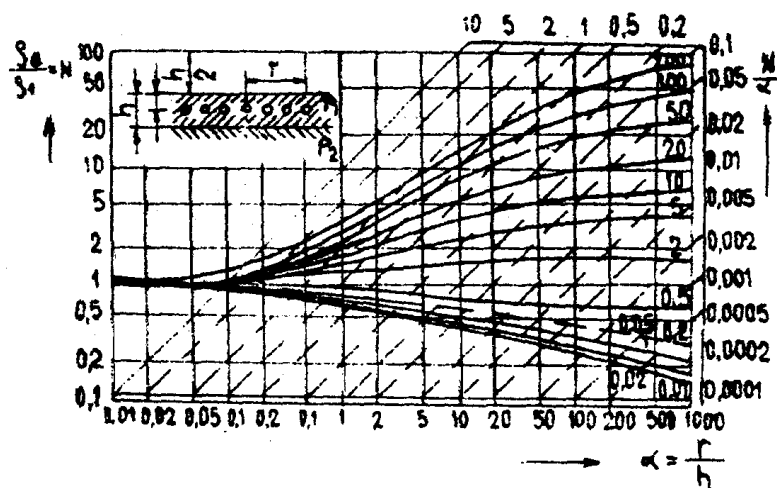


Figura A.1.13- Curbele de variatie ale raporturilor $\frac{\rho_e}{\rho_1} = N$ si $\frac{N}{\alpha}$ în functie de raportul $\alpha = \frac{r}{h}$ pentru prize de pamânt cu electrozi orizontali în forma de retea în sol neomogen cu doua straturi; parametrul de variatie este raportul $\frac{\rho_2}{\rho_1}$.

În cazul în care $t \neq \frac{h}{2}$, grosimea de calcul h_c se determina cu relatia $h_c = 2(h-t)$.

În tabelul A.1.13 se dau diferite valori ale rezistivitatii echivalente, în functie de valoarea razei de calcul corespunzatoare suprafeței S a prizei în retea.

Tabelul A.1.13

Prize complexe în forma de retea

Exemplu: Rezistivitatii echivalente pentru $\rho_1 = 100 \Omega\text{m}$; $\rho_2 = 1000 \Omega\text{m}$, $h = 2 \text{ m}$; $h_c = 2 (2 - 0,6)$

$$= 2,8 \text{ m}; \quad \frac{\rho_2}{\rho_1} = 10$$

r	15	20	25	30	40	50	60	80	100	150	200
$\alpha=r/h$	5,4	7,2	9	10,7	14,1	17,9	21,5	28,6	36	53,5	71,5
N	3,2	3,5	3,7	3,8	4,0	4,15	4,3	46	49	53	55
$\rho_e=N \cdot \rho_1$	320	350	370	380	400	415	430	460	490	530	550

Din figura A.1.13 rezulta ca în cazul considerat, pentru valori foarte mari ale lui r, valoarea N creste încet, astfel încât pentru $\alpha = 1000$, N atinge valoarea 7 si, deci, $\rho_e = 700 \Omega\text{m}$.

Se observa ca în functie de marimea prizei, rezistivitatea echivalenta variaza în limite foarte mari (300 ... 700 Ωm).

În tabelul A.1.14 se dau diferite valori ale rezistivitatii echivalente, în functie de valoarea raportului $\frac{\rho_2}{\rho_1}$.

Tabelul A.1.14

Prize complexe în forma de retea

Exemplu: Rezistivitatii echivalente pentru $t = 0,6 \text{ m}$; $h = 2 \text{ m}$; $h_c = 2,8 \text{ m}$; $r = 50 \text{ m}$;

$$\alpha = \frac{r}{H} = 17,9; \quad \rho_1 = 100 \Omega\text{m}.$$

ρ_2/ρ_1	0,02	0,2	0,5	2	5	10	20	50	100	200
N	0,42	0,58	0,72	1,7	3	4,15	6,5	10	15	19
ρ_e	42	58	72	170	300	415	650	1000	1500	1900

În tabelul A.1.15 se dau diferitele valori ale rezistivitatii echivalente, în functie de grosimea stratului superior h.

Tabelul A.1.15

Prize complexe în forma de retea

Exemplu: Rezistivitatii echivalente pentru $t = 0,6 \text{ m}$; $r = 50 \text{ m}$; $\frac{\rho_2}{\rho_1} = 5$; $\rho_1 = 100 \Omega\text{m}$.

	1	2	3	5	10	20	30	50	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
h_c	0,8	2,8	4,8	8,8	18,8	38,8	58,8	98,8	198,8
$\alpha=r/h_c$	62,5	17,9	10,4	5,7	2,65	1,3	0,85	0,50	0,25
N	3,5	3	2,1	2	1,8	1,6	1,5	1,4	1,25
ρ_e	350	300	210	200	180	160	150	140	125

Prize cu electrod vertical în sol neomogen, cu plan de separare vertical.

În figura A.1.14 se dau curbele valorilor rezistentelor geometrice suplimentare R_{gs} pentru o priza cu electrod vertical, îngropat într-un sol neomogen cu doua straturi de rezistivitatii diferite ρ_1 si ρ_2

având planul de separare între cele două straturi verticale (perpendicular pe suprafața solului), electrodul fiind în stratul de rezistivitate ρ_1 .

În abscisa sunt valorile raportului a/l , a fiind distanța dintre electrodul vertical și planul vertical de separare între cele două straturi, iar l lungimea electrodului. Parametrul de variație pentru curbele din figura A.1.14 este coeficientul de refracție.

$$k = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1}$$

În figura A.1.14 sunt prezentate curbele de variație ale rezistenței geometrice suplimentare R_{gs} pentru o priză cu electrod vertical, într-un sol neomogen cu două straturi de rezistivități diferite, având planul de separare vertical; parametrul de variație este:

$$k = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1}; \text{ pentru } k > 0; R_{gs} > 0$$

$$\text{pentru } k < 0; R_{gs} < 0$$

Rezistența geometrică R_g se determină cu relația:

$$R_g = \frac{R_{ph} \cdot l}{\rho_1} + R_{gs}$$

unde:

$$R_{ph} = 0,366 \frac{\rho}{l} \lg \frac{4 \cdot l}{d},$$

formula pentru prizele verticale într-un sol omogen de rezistivitate ρ_1 .

$$R_g = R_p \frac{l}{\rho_e}$$

Rezistența de dispersie R_p rezulta, deci, din relația:

$$R_p = R_g \frac{\rho_e}{l}$$

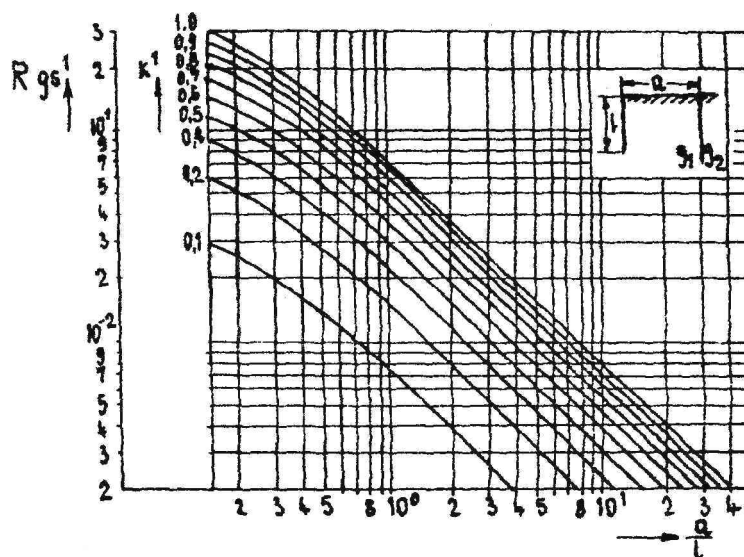


Figura A.1.14- Curbele de variație ale rezistenței geometrice suplimentare R_{gs} pentru o priză cu electrod vertical într-un sol neomogen cu 2 straturi de rezistivități diferite având

planul de separare vertical; parametrul de variație este $k = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1}$, pentru $k > 0$, $R_{gs} > 0$

iar pentru $k < 0$, $R_{gs} < 0$.

Cunoscând R_p , se poate determina rezistivitatea echivalentă ρ_e pentru solul respectiv:

$$\rho_e = \frac{R_p}{R_{ph}} \cdot \rho_1,$$

valabila în cazul prizei verticale cu raportul $\frac{a}{l}$, pentru care s-a determinat rezistența suplimentară R_{gs} .

A.2. Determinarea coeficientilor de atingere si de pas

A.2.1. Coeficientii de atingere si de pas sunt dati de relatiile:

$$k_a = 1 - \frac{U_k}{U_p}; \quad k_{pas} = \frac{U_{k1} - U_{k2}}{U_p} \quad (2.1)$$

în care:

U_k reprezinta potentialul punctului k pentru care se determina coeficientul de atingere;

U_p - tensiunea prizei de pamânt;

U_{k1} si U_{k2} - potentialele punctelor k_1 si k_2 pentru care se calculeaza coeficientul de pas.

Potentialul într-un punct k este dat de relatia:

$$U_k = \sum_{p=1}^m U_{kp} \quad U_{kp} = \sum_{p=1}^m i_p \cdot \beta_{kp} \quad (2.2)$$

unde:

U_{pk} reprezinta potentialul punctului k, daca ar exista numai electrodul de rang p;

i_p - curentul care trece în pamânt prin electrodul de rang p;

β_{kp} - rezistenta reciproca între punctul k si electrodul de rang p.

Curentii i_p se determina din relatiile 2,3 ale potentialelor electrozilor. Potentialul unui electrod reprezinta suma potentialelor datorita curentului care trece în pamânt prin electrodul respectiv, precum si datorita curentilor care trec în pamânt prin ceilalti electrozi:

$$\begin{aligned} U_1 &= i_1 \cdot \alpha_{11} + i_2 \cdot \alpha_{21} + \dots + i_p \cdot \alpha_{p1} + \dots + i_n \cdot \alpha_{n1} \\ U_2 &= i_1 \cdot \alpha_{12} + i_2 \cdot \alpha_{22} + \dots + i_p \cdot \alpha_{p2} + \dots + i_n \cdot \alpha_{n2} \\ U_m &= i_1 \cdot \alpha_{1m} + i_2 \cdot \alpha_{2m} + \dots + i_p \cdot \alpha_{pm} + \dots + i_n \cdot \alpha_{nm} \\ U_n &= i_1 \cdot \alpha_{1n} + i_2 \cdot \alpha_{2n} + \dots + i_p \cdot \alpha_{pn} + \dots + i_n \cdot \alpha_{nn} \end{aligned} \quad (2.3)$$

Se considera ca toti electrozii prizei se afla la acelasi potential si, deci:

$$U_1 = U_2 = \dots = U_n = U_p = R_p \cdot I_p \quad (2.4)$$

unde:

R_p este rezistenta de dispersie a prizei, calculata conform indicatiilor din anexa 1;

I_p - curentul efectiv care trece prin priza.

Între curentul care trece prin priza si curentii care trec în pamânt prin fiecare electrod, exista relatia:

$$I_p = i_1 + i_2 + i_3 + \dots + i_n \quad (2.5)$$

unde:

α_{nm} este rezistenta proprie a electrodului de rang m;

α_{pm} este rezistenta reciproca între electrozii de rang p si m.

A.2.2. Calculul coeficientilor de atingere si de pas pentru instalatiile de dirijare cu electrozi orizontali rectilinii si paraleli, folosite în statii electrice.

Nu este necesara prevedere unui sistem caroiat (în retea).

Se va avea în vedere ca reseaua instalatiei de legare la pamânt respectiva sa depaseasca în toate cazurile zonele de deservire a echipamentului din statie.

Pentru calculul rezistentelor proprii si reciproce în cazul electrozilor rectilinii si paraleli, se utilizeaza metoda potentialelor medii si principiul imaginilor inversate (vezi programul de calcul "INCO" din biblioteca ELECTRA).

Rezistenta proprie a unui electrod orizontal, de lungime l si diametru d, îngropat la adâncimea t, într-un mediu semiinfinit de rezistivitate ρ , se calculeaza cu relatia:

$$\alpha_{mm} = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{l^2}{dt} \quad (2.6)$$

Rezistența reciprocă a doi electrozi paraleli de lungime l , diametru d , îngropați la adâncimea t într-un mediu semiinfinite de rezistivitate ρ , la distanța a_{mp} unul față de altul, se calculează cu relația:

$$\alpha_{mp} = \frac{\rho}{\pi l} \left[\ln \left(\frac{l}{a_{mp}} + \sqrt{\frac{l^2}{a_{mp}^2} + 1} \right) + \frac{a_{mp}}{l} - \sqrt{\frac{a_{mp}^2}{l^2} + 1} \right] \quad (2.7)$$

Rezistența reciprocă a doi electrozi perpendiculari de lungime L_1 și, respectiv, L_2 (vezi figura A.2.1) îngropați la adâncimea t în mediu semiinfinite de rezistivitate ρ , se calculează cu relația:

$$\alpha_{m^2} = \frac{\rho}{2\pi L_1 L_2} \left[l_1 \operatorname{arcsch} \frac{l_2}{l_1} + l_2 \operatorname{arcsch} \frac{l_1}{l_2} + l_2 \operatorname{arcsch} \frac{l_3}{l_2} + l_3 \operatorname{arcsch} \frac{l_2}{l_3} + l_3 \operatorname{arcsch} \frac{l_4}{l_3} + \right. \\ \left. + l_4 \operatorname{arcsch} \frac{l_3}{l_4} + l_4 \operatorname{arcsch} \frac{l_1}{l_4} + l_1 \operatorname{arcsch} \frac{l_4}{l_1} \right] \quad (2.8)$$

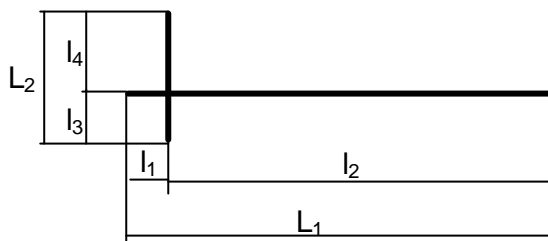


Fig. A.2.1.

În cazul în care o lungime l_i este 0, atunci termenii care o conțin sunt nuli, deoarece:

$$\lim_{l_i \rightarrow 0} \operatorname{arcsch} \frac{l_i}{l_k} = 0 \quad \text{și} \quad \lim_{l_i \rightarrow 0} l_i \operatorname{arcsch} \frac{l_k}{l_i} = 0 \quad (2.9)$$

Rezistența reciprocă dintre un electrod "p" de lungime "l" și un punct "k" se calculează cu relația:

$$\beta_{kp} = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{(r_1 + r_2) + l}{(r_1 + r_2) - l} \quad (2.10)$$

unde:

r_1 și r_2 sunt distanțele de la capetele electrodului la punctul considerat.

Rezolvând sistemul de ecuații 2.3 se determină potențialul prizei de dirijare a distribuției potențialelor U_p și curenții i_p ce se scurg în pământ prin electrozii prizei. Cu ajutorul relației 2.10 se determină potențialele în diferite puncte de pe suprafața solului, obținând astfel distribuția potențialelor U_k și apoi coeficienții de atingere și de pas cu relațiile:

$$k_a = \frac{U_p - U_k}{U_p} \quad \text{și} \quad k_p = \frac{U_{k+1} - U_k}{U_p} \quad (2.11)$$

Metodologia de calcul prezentată mai sus stă la baza programului de calcul pentru dimensionarea instalațiilor complexe de legare la pământ cu electrozi verticali și orizontali din stațiile electrice de înaltă tensiune. Programul de calcul poartă denumirea "INCO" și este în biblioteca "ELECTRA".

În urma executiei programului INCO se obțin următoarele rezultate:

- matricea coeficienților sistemului de ecuații 2.3 și termenii liberi ai sistemului;
- rezistența de dispersie a prizei de dirijare a distribuției potențialelor R_{pd} ;
- rezistența echivalentă a sistemelor formate din conductorul de protecție al LEA și prizelor stâlpilor LEA;
- rezistența de dispersie a conturului metalic care înconjoară stația în cazul în care coeficientul de atingere maxim admis este mai mare decât 0,08;
- rezistența de dispersie a prizei cu electrozi verticali R_{pv} și a prizei cu electrozi orizontali R_{po} ,

- asociata prizei cu electrozi verticali;
- f) rezistenta de dispersie totala a instalatiei de legare la pamânt R_{pt} ;
- g) potentialul instalatiei de legare la pamânt U_{pt} ;
- h) coeficientul de atingere maxim admis k_{am} ;
- i) curentii care se scurg de pe electrozii prizei de dirijare a distributiei potentialelor.

Pentru calcule informative în cele ce urmeaza se prezinta o metoda de calcul simplificat, care permite determinarea cu o aproximatie admisibila a coeficientilor de atingere si de pas pentru prizele de dirijare cu electrozi orizontali.

Valorile maxime ale coeficientilor de atingere pe suprafata prizei de dirijare (în zone extreme ale suprafetei) se determina cu relatia 2.13.

Pe suprafata prizei de dirijare, coeficientii de pas nu depasesc, în general, valorile coeficientilor de atingere, astfel încât se poate considera:

$$k_a = k_{pas} \quad (2.12)$$

Pentru dimensionarea instalatiei de dirijare se poate folosi relatia:

$$k_a = \frac{0,7}{\frac{1}{2\pi} \left(\ln \frac{L^2}{dt_1} + A \right)} \quad (2.13)$$

Coeficientul maxim de pas, în afara prizei si în imediata apropiere a acesteia, se poate determina cu o aproximatie acceptata, folosind relatia:

$$k_{pas} = \frac{k_s \cdot k_i}{\frac{1}{2\pi} \left(\ln \frac{L^2}{dt_1} + A \right)} \quad (2.14)$$

În relatia (2.14) si numai pentru $n \geq 3$:

$$k_i = 0,65 + 0,172 n, \text{ iar} \quad (2.15)$$

$$k_s = \frac{1}{\pi} \left(\frac{1}{2t_2} + \frac{1}{a+t_2} + \frac{1}{2a} + \frac{1}{3a} + \dots + \frac{1}{(n-1)a} \right) \quad (2.16)$$

$$A = l_n \frac{l^{2n-1}}{a^{2n-3} \cdot L^2 \left[\left(\frac{n}{2} - 1 \right)! \right]^2 \cdot (n-1)!} \quad (2.17)$$

în care:

- a reprezinta distanta între doi electrozi paraleli (m);
- l - lungimea unui singur electrod (m) (lungimea mare a dreptunghiului în care se înscrie reseaua de dirijare);
- n - numarul de electrozi paraleli;
- L - lungimea însumata a electrozilor paraleli care alcatuiesc priza orizontala (m);
 $L = n \cdot l$;
- t_1 - adâncimea de îngropare a electrozilor paraleli (m);
- d - diametrul unui electrod; în cazul electrozilor alcatuiti din banda $d = b/2$, unde b este latimea benzii (m);
- t_2 - adâncimea de îngropare a electrozilor orizontali de pe conturul extrem al prizei de pamânt artificiale.

Nota. Daca n este numar impar, în locul expresiei

$$\left(\frac{n}{2} - 1 \right)! \text{ se va considera } \left(\frac{n+1}{2} - 1 \right)!$$

Coeficientii de pas pentru punctele aflate la o anumita distanta în exteriorul zonei ocupate de prizele de pamânt nu pot fi calculati cu relatia 2.14.

Indiferent de modul real de distributie a electrozilor orizontali ai prizei de dirijarea distributiei potentialelor, pentru calcule, folosindu-se relatiile 2.13 ... 2.17, se va considera o retea cu electrozii orizontali dispusi pe latura mare a prizei de dirijarea distributiei potentialelor. Astfel lungimea electrodului va fi "l" egala cu latura mare a retelei de dirijare, iar pentru distanta "a" între electrozi

paraleli se va considera distanta medie dintre electrozii din distribuirea reala. Se va tine seama ca relatiile 2.13 ... 2.17 sunt valabile pentru o retea de dirijare ideala cu electrozi orizontali paraleli cu latura mare, iar distanta "a" dintre acestia este egala (o constanta). Calculele astfel efectuate dau rezultate cu o aproximatie acceptata.

În cazul în care în afara de electrozii orizontali paraleli exista si alti electrozi orizontali care dau prizei forma unei plase (în cazurile reale se adauga conductoarele de ramificatie si prizele naturale) existente care determina configuratia unei retele buclate (unui caroiaj), relatiile 2.13 si 2.14 devin:

$$k_a = \frac{0,7}{\frac{1}{2\pi} \left(\ln \frac{L^2}{dt} + 2A \right)} \quad (2.18)$$

si

$$k_{pas} = \frac{k_s \cdot k_i}{\frac{1}{2\pi} \left(\ln \frac{L^2}{dt} + 2A \right)} \quad (2.19)$$

Pentru cazul statiilor de tip interior, se poate aplica urmatoarea metoda de calcul al coeficientilor de pas la periferia prizei de pamânt artificiale.

Se asimileaza priza de pamânt artificiala împreuna cu cladirea în care se afla statia electrica, cu o priza de pamânt în forma de placa dreptunghiulara asezata pe suprafata solului si având dimensiunile egale cu ale prizei de pamânt artificiale.

Coeficientul de pas, în acest caz, poate fi calculat cu relatia:

$$k_{pas} = 9 \frac{\sqrt{S}}{D^2} \cdot l_m \quad (2.20)$$

unde:

S este suprafata ocupata de priza în forma de placa (m²);

D - diagonala prizei în forma de placa (m);

l_m - lungimea pasului (m).

Se considera l_m ≈ 0,8 m.

Aceasta relatie corespunde unei adâncimi de îngropare a electrozilor de dirijare t = 0,3 - 0,4 m. Pentru adâncimi de îngropare mai mari se va considera un coeficient de corectie K. Astfel, relatia 2.17 devine:

$$k_{pas} = K \cdot 7,2 \cdot \frac{\sqrt{S}}{D^2} \quad (2.21)$$

k = 1 pentru t = 0,30 ... 0,4 m;

K = 0,7 pentru t = 0,5 m;

K = 0,5 pentru t = 0,8 m;

K = 0,4 pentru t = 1 m.

Pentru determinarea potentialelor U_k ale punctelor de pe suprafata solului, aflate la distanta D fata de marginea prizei de pamânt complexe (a statiei exterioare sau interioare), se va asimila aceasta din urma cu o priza dintr-o placa; suprafata placii S se considera egala cu aceea a terenului cuprins în conturul marginal (exterior) al prizei respective. Potentialele U_k se vor determina cu relatia:

$$U_k = U_p \frac{2\alpha}{\pi}$$

unde:

U_p reprezinta tensiunea totala a instalatiei de legare la pamânt (U_p = I_p · R_p);

a - termenul care tine seama de distanta D în raport cu întinderea prizei;

$$\alpha = \arctg \frac{R}{\sqrt{D^2 + 2DR}}$$

R - raza placii circulare, care are o suprafata echivalenta S.

$$R = \sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

De exemplu: dacă $D = R$, rezulta $\alpha = \operatorname{arctg} \frac{1}{3}$

și deci:

$$U_k = \frac{2U_p}{\pi} \cdot \frac{\pi}{6}; \quad U_k = \frac{1}{3} \cdot U_p$$

A.2.3. În cazul prizelor de dirijare a distribuției potențialelor indicate în prezentele instrucțiuni, pentru stâlpii liniilor electrice aeriene (fig.4 și fig.5) se pot considera în calcule următorii coeficienți medii de atingere și de pas:

a) Pentru priza de dirijare cu trei inele și patru raze (fig.4):

$$k_a = k_{pas} = 0,1$$

În acest caz, la stâlpii din afara incintelor industriale se considera satisfăcută condiția privind tensiunile limită de atingere și de pas, dacă tensiunea totală a prizei de pământ de la stâlp este:

$$U_p = R_p \cdot i_p \leq 2500 \text{ V}$$

în care:

R_p reprezintă rezistența de dispersie a prizei stâlpului, nelegată la conductorul de protecție al liniei respective (Ω);

i_p - partea din curentul total de defect care trece prin priza stâlpului (A).

b) Pentru priza de dirijare cu două inele și patru raze (fig.5):

$$k_a = k_{pas} = 0,3$$

În situațiile în care la verificările prin măsurări, efectuate înainte de punerea sub tensiune a liniei respective, se constată coeficienții de atingere și de pas mai mari decât cei indicați mai sus, în vederea micșorării tensiunilor de atingere și de pas se va aplica o izolare a amplasamentului prin acoperirea cu balast sau asfalt a zonei în care s-a constatat depășirea tensiunii maxime de atingere și de pas (conform indicațiilor din anexa 4).

A.2.4. În cazul stâlpilor și posturilor de transformare pe stâlpi și în cabine (metalice sau zidite), electrozii orizontali de dirijare a distribuției potențialelor vor fi de formă circulară sau dreptunghiulară.

A.3. Verificarea condițiilor de stabilitate termică a prizelor de pământ

A.3.1. În calculele de verificare la stabilitatea termică a prizelor de pământ, se va avea în vedere ca densitatea de curent "j" maximă admisă la suprafața electrozilor să fie astfel determinată, încât temperatura pe această suprafață să nu depășească $\theta_{\max} = 95^{\circ}\text{C}$. De asemenea, se va urmări să nu apară o creștere de temperatură $\theta = \theta_{\max} - \theta_0$ mai mare de 60°C .

A.3.2. În cazul unui regim termic de scurtă durată de ordinul secundelor, se va îndeplini următoarea condiție de stabilitate termică:

$$J = \sqrt{\frac{\gamma \cdot \theta}{\rho \cdot t}} \quad (3.1)$$

unde:

J reprezintă densitatea de curent la suprafața prizei (A/m^2);

γ - căldura specifică medie a pământului $\left(\frac{\text{W} \cdot \text{s}}{^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}^3}\right)$;

dacă nu dispunem de valori măsurate se poate considera în calcule valoarea:

$$\gamma = 1,7 \cdot 10^6 \frac{\text{W} \cdot \text{s}}{^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}^3}$$

θ - creșterea de temperatură ($^{\circ}\text{C}$).

Se va considera: $\theta = \theta_{\max} - \theta_0 = 60^{\circ}\text{C}$

ρ - rezistivitatea solului (Ωm);

t - durata regimului termic (s).

Criteriul de verificare la regimul termic de scurtă durată îl va putea constitui și tensiunea totală a prizei de pământ $U_p = R_p \cdot I_p$ (în V). În acest caz, tensiunea de verificare devine:

$$U_p \leq R_p \cdot S \sqrt{\frac{\gamma \cdot \theta}{\rho \cdot t}} \quad (3.2)$$

în care:

S este suprafața în contact cu solul, pe care trebuie să o prezinte electrozii prizei de pământ pentru trecerea curentului de punere la pământ (m^2).

În cazul prizelor de pământ complexe, pentru un calcul acoperitor la determinarea suprafețelor efectiv necesare se vor considera coeficienții respectivi de utilizare.

De exemplu, pentru prizele complexe din electrozi verticali și orizontali va rezulta:

$$S = \eta_v S_v + \eta_o S_o \geq I_p \sqrt{\frac{\rho \cdot t}{\gamma \cdot \theta}}$$

unde:

S_v și S_o reprezintă suma suprafețelor laterale ale electrozilor verticali și ale celor orizontali;

η_v și η_o - coeficienții de utilizare a prizelor verticale și a celor orizontale.

În cazul unui regim termic cu timp limitat, de ordinul minutelor, se vor considera valorile din tabelul A.3.1. în funcție de rezistivitatea solului, pentru o tensiune totală:

$$U_p = 125 \text{ V}$$

Tabelul A.3.1.

Duratele maxime admise

Rezistivitatea solului, ρ Ωm	Durata maximă admisă în minute, t	
	Priza verticală din tevi $L=1,5\dots 3\text{m}$; $d \approx 2''$; $d = 60 \text{ mm}$	Priza orizontală din oțel lat sau rotund
50	100	30
100	200	60
200	400	120
300	600	180

Tensiunea U_p maxima ce se poate admite pentru un anumit timp (t), diferit, însa mai mic decât cel indicat în tabelul A.3.1. se va obtine din relatia:

$$U_p \leq 125 \sqrt{\frac{t}{t}} \quad (3.3)$$

A.3.3. În cazul unui regim termic cu un timp nelimitat, trebuie sa fie îndeplinita urmatoarea conditie de stabilitate termica:

$$U_p \leq \sqrt{2 \cdot \rho \cdot \lambda \cdot \theta} \quad (3.4)$$

unde:

U_p este tensiunea totala a prizei (V);

$$(U_p = R_p \cdot I_p);$$

ρ - rezistivitatea solului (Ωm);

λ - conductivitatea medie a pamântului ($W/^\circ C m$);

daca nu se dispune de valori masurate, se poate considera în calcule: $\lambda = 1,2 W/^\circ C$

θ - cresterea de temperatura ($^\circ C$). Se poate considera $\theta = 60^\circ C$

A.3.4. În cazul în care satisfacerea conditiilor de stabilitate termica a prizelor de pamânt duce la cheltuieli mari, se accepta depasirea densitatilor de curent maxime admise, numai daca se iau masurile necesare de verificare a bunei stari a prizelor de pamânt dupa fiecare defect cu punere la pamânt.

A.3.5. Sectiunile conductoarelor de legatura dintre electrozii prizei de pamânt se vor determina astfel, încât sa se satisfaca conditiile de stabilitate termica (vezi indicatiile din anexa 5).

Daca aceste conductoare nu sunt folosite si drept electrozi ai prizei de pamânt, se va avea în vedere ca densitatea de curent maxima prin conductoare sa fie astfel determinata, încât temperatura lor sa nu depaseasca valoarea de $200^\circ C$ în medii cu pericol de incendiu si $300^\circ C$, daca nu exista un asemenea pericol.

A.3.6. Daca electrozii sunt dispusi pe un contur închis, în calculele privind verificarea la stabilitate termica se poate considera curentul:

$$I = \frac{I_d}{2}$$

unde:

I_d este intensitatea curentului de defect care trece prin conductoarele instalatiei de legare la pamânt respective.

A.3.7. Conductoarele de legatura dintre electrozii prizei de pamânt vor fi considerate si electrozi ai prizei de pamânt, daca îndeplinesc conditiile mentionate la astfel de electrozi si nu sunt acoperiti cu vopsea sau alte materiale izolante.

Sectiunile conductoarelor de legatura dintre electrozii prizei de pamânt, fie ca sunt sau nu considerate electrozi ai prizei, vor fi cel putin egale cu ale conductoarelor de legatura la priza, calculate conform anexei 5.

A.3.8. Indiferent de rezultatul calculelor privind verificarea la stabilitate termica, sectiunile conductoarelor de legatura dintre electrozii prizei trebuie sa fie cel putin egale cu valorile minime indicate în STAS 12604/5-89 pentru electrozii prizei.

A.4. Izolarea amplasamentelor

A.4.1. Izolarea amplasamentelor se va aplica în cazul în care valorile U_a și U_{pas} rezultate în urma dirijării distribuției potențialelor, depășesc valorile tensiunilor de atingere U_a și U_{pas} maxime admise de STAS 12604/4-89.

A.4.2. Rezistența de izolare a amplasamentelor R_d (k Ω) trebuie să prezinte următoarele valori:

- în instalațiile interioare:

$$R_d \geq 3 \left(\frac{U_a^i}{U_a} - 1 \right), \text{ însa nu mai puțin de } 50 \text{ k}\Omega;$$

- în instalațiile exterioare, considerând materialele de izolare în condiții de umiditate excesivă:

$$R_d \geq 6 \left(\frac{U_a^i}{U_a} - 1 \right)$$

A.4.3. La alegerea materialelor de acoperire cu rezistivitate mare, pentru instalațiile exterioare, se va folosi relația:

$$R_d = \frac{\rho}{2} \left(\frac{h}{600} + \frac{1}{55 \cdot 2\chi} \right) \cdot 10^{-3}$$

în care:

R_d este rezistența izolării amplasamentului (k Ω);

ρ - rezistivitatea materialului izolant în condiții de umiditate (Ωm);

h - grosimea stratului de izolare (cm);

χ - raportul dintre rezistivitatea materialului de izolare ρ și rezistivitatea solului ρ_s ;

$$\chi = \frac{\rho}{\rho_s}$$

A.4.4. Ca material pentru izolarea amplasamentului se pot folosi:

- piatra spartă (balast) de granulație mare ($\Phi \geq 3$ cm) curată, fără pământ, într-un strat de cel puțin 15 cm ($h = 15 - 20$ cm); se poate considera în calcule (pentru stare umedă) $\rho = 50 \times 10^4 \Omega\text{cm}$, rezultând o rezistență $R_d \approx 6000 \Omega$ și o tensiune de atingere și de pas:

$$U_a = \frac{U_a^i}{\alpha_a} \text{ și } U_{pas} = \frac{U_{pas}^i}{\alpha_{pas}} \text{ unde } \alpha_a = 2 \text{ și } \alpha_{pas} = 5 \text{ (} \alpha_{pas} = 4\alpha_a - 3 \text{)}$$

- dale de beton; în acest caz, se pot considera în calcule:

$$U_a = \frac{U_a^i}{3} \text{ și } U_{pas} = \frac{U_{pas}^i}{9} \text{ unde } \alpha_a = 3 \text{ și } \alpha_{pas} = 9$$

- un strat de asfalt cu grosimea de 2-4 cm; în acest caz se pot considera în calcule:

$$U_a = \frac{U_a^i}{5} \text{ și } U_{pas} = \frac{U_{pas}^i}{17} \text{ unde } \alpha_a = 5 \text{ și } \alpha_{pas} = 17$$

Dupa cum rezulta de mai sus (a se vedea STAS 12604/5-90), coeficientul de izolare a amplasamentului α_a este egal cu:

$\alpha_a = 2$ și $\alpha_{pas} = 5$ în cazul balastului cu piatra spartă de 15 cm (grosime a stratului);

$\alpha_a = 3$ și $\alpha_{pas} = 9$ în cazul dalelor de beton;

$\alpha_a = 5$ și $\alpha_{pas} = 17$ în cazul asfaltului de 2 cm grosime.

A.5. Conductoare utilizate pentru executarea instalatiilor de legare la pamânt

A.5.1. Conductoarele folosite pentru executarea instalatiilor de legare la pamânt vor fi din otel sau cupru. Conductoarele din aluminiu sunt admise numai daca fac parte dintr-un cablu cu învelis protector si împotriva solicitarilor mecanice.

A.5.2. Alegerea conductoarelor se va face tinându-se seama de urmatoarele conditii:

- sa prezinte o rezistenta electrica cât mai mica posibil, pentru a nu mari rezistenta întregii instalatii de legare la pamânt;
- sa fie rezistente la solicitari mecanice si la coroziune;
- sa suporte în permanenta curentii electrici posibili, fara ca temperatura lor sa depaseasca valoarea de 200 °C în medii cu pericol de incendiu si de 300 °C daca nu exista acest pericol.

A.5.3. Conductoarele neîngropate si neizolate pot fi protejate împotriva corodarii prin vopsire. Conductoarele speciale, destinate legarii la pamânt, vor fi vopsite în culoare neagra.

A.5.4. Drept conductoare pentru executarea instalatiei de legare la pamânt se vor folosi în primul rând constructiile metalice ale cladirilor în care se afla instalatia electrica respectiva sau constructii metalice fixe, cum sunt:

- constructiile metalice utilizate în productie (caile de rulare ale macaralelor, galeriile, platformele, casele ascensoarelor, corpurile aparatelor de ridicat);
- partile de sustinere si carcusele instalatiilor de distributie (de exemplu, cutiile din otel în care sunt închise instalatiile electrice cu bare);
- tevile de forare, la plansele metalice ale constructiilor hidrotehnice, tevile din otel pentru conductoarele instalatiilor electrice;
- funiile din otel de suspensie pentru conductoare si cabluri, cu verificarile rezistentei lor mecanice în conditiile trecerii unui curent de defect prin aceste funii;
- armaturile metalice ale constructiilor de beton armat.

Elementele de mai sus se pot utiliza drept conductoare de legare la pamânt, numai daca îndeplinesc conditiile:

- prezinta continuitate electrica de rezistenta neglijabila si sigura în exploatare;
- se pot prevedea masuri astfel încât în caz de deteriorare a unor portiuni, legarea la pamânt sa fie totusi asigurata;
- se îndeplinesc conditiile privind sectiunile minime admise;
- în cazul folosirii armaturilor metalice ale constructiilor de beton armat se prevad în mod special locuri de racord usor accesibile si sunt executate sudurile necesare pe toata întinderea armaturilor, pentru a asigura continuitatea electrica.

A.5.5. Se interzice folosirea drept conductor de legare la priza de pamânt a învelisurilor metalice ale tuburilor de protectie din instalatiile electrice, a mantalelor de plumb si a armaturilor de otel ale cablurilor.

A.5.6. În cazul folosirii elementelor mentionate la punctul A.5.4. drept conductoare de legare la pamânt principale, legarea conductoarelor de ramificatie la ele se poate executa fie direct, fie prin intermediul unor conductoare intermediare (comune), care trebuie sa aiba însa sectiunea cel putin egala cu cea indicata pentru conductoarele principale si care sa constituie pe cât posibil circuite închise.

A.5.7. Legaturile de ramificatie la conductoarele principale de legare la pamânt se vor executa pentru fiecare element legat la pamânt în parte; este interzisa legarea în serie a doua sau a mai multor elemente si apoi legarea la conductorul principal.

A.5.8. Pentru verificarea la stabilitate termica a sectiunii conductoarelor de legare la pamânt si anume a conductoarelor principale de legare la pamânt, a conductoarelor de ramificatie si a celor de legatura la prizele de pamânt, se vor considera urmatorii curenti "I" care pot trece prin aceste conductoare;

- pentru conductoarele de ramificare:

$$I = I_d$$

- pentru conductoarele principale, dacă formează un circuit închis:

$$I = \frac{I_d}{2}$$

- pentru conductoarele principale, dacă nu formează un circuit închis:

$$I = I_d$$

- pentru conductoarele de legătură la priza de pământ:

$$I = \frac{I_d}{2}$$

unde:

I_d este curentul de defect care trece prin instalația de legare la pământ.

În cazul rețelilor legate la pământ I_d se ia egal cu valoarea curentului de scurtcircuit monofazat. Timpul se considera cel al protecției de rezerva; dacă aceasta nu există, se ia timpul treptei a II-a, a protecției de bază.

În cazul rețelilor izolate față de pământ, se va considera I_d egal cu valoarea curentului de scurtcircuit bifazat.

Dacă o astfel de dimensionare duce la cheltuieli mari, se vor considera timpii și curenții de punere la pământ menționați la subcapitolele 3.2.2 - 3.2.5. În această situație, se vor verifica conductoarele de legare la pământ după fiecare scurtcircuit bifazat care a avut loc în instalație.

În tabelul A.5.1 se dau curenții maximi admisi în conductoarele de legare la pământ pentru secțiuni până la 200 mm.

Tabelul A.5.1

Curenții maximi admisi în conductoarele de legare la pământ

Secțiunea	Curentul maxim admis de durată, A			Curentul maxim admis pentru t=1s, A		
	Oțel	Cupru	Aluminiu	Oțel	Cupru	Aluminiu
16	-	150	-	-	2500	-
25	-	200	160	-	4000	2700
35	-	280	200	-	5500	3700
50	150	480	250	3300	8000	5300
70	180	590	320	4700	11500	7400
100	240	780	430	6700	15000	10500
200	420	1380	760	13500	32500	21000

Nota: 1. Pentru 300 °C valorile se vor înmulți cu 1,2.

2. Conductoarele de aluminiu sunt admise numai dacă sunt protejate în tuburi de protecție metalice sau fac parte dintr-un cablu cu înveliș protector împotriva solicitărilor mecanice.

Pentru cazurile care nu se încadrează în tabelul A.5.1 secțiunea conductoarelor se va stabili cu relația:

$$s \geq \frac{I_m}{j} \text{ (mm}^2\text{)}$$

unde:

I_m este curentul de defect mediu echivalent (A);

$$I_m = I \cdot \sqrt{t_f}$$

în care:

I reprezintă valoarea efectivă a curentului de defect stabilizat (A);

t_f - timpul fictiv de trecere a curentului de defect (s);

j - densitatea de curent admisă (A/mm²) pentru timpul de 1s; se vor considera următoarele valori pentru 200 °C:

- pentru oțel: $j = 70 \text{ A/mm}^2$;

- pentru cupru: $j = 160 \text{ A/mm}^2$;

- pentru aluminiu: $j = 100 \text{ A/mm}^2$;
- pentru otel aluminiu: $j = 100 \text{ A/mm}^2$;

Indiferent de rezultatele calculelor pentru dimensionarea conductoarelor de legare la pamânt, sectiunile vor fi cel putin egale cu cele indicate în tabellele A.5.2, A.5.3 si A.5.4.

Tabelul A.5.2.

Sectiunea minima a conductoarelor principale de legare la pamânt si a acelora dintre conductoarele principale si prizele de pamânt, mm^2

Conductorul	Îngropat		Montat aparent sau în canal
	Neprotejat	Protejat în teava de otel	
- Conductor de otel protejat împotriva coroziunii, cu grosimea de cel puțin 4 mm	150 ^{*)}	-	-
- Conductor de otel protejat împotriva coroziunii, cu grosimea de cel puțin 3 mm	-	-	100
- Funie din otel zincat	-	-	95
- Cupru masiv	25	25	25
- Funie de cupru	35	25	25

*) În cazul instalatiilor si echipamentelor electrice de joasa tensiune, se admite sectiunea minima de 100 mm^2 .

Tabelul A.5.3

Sectiunea minima a conductoarelor de ramificatie, mm^2

Conductorul	Îngropat în pamânt	Montat aparent sau în canal
- Conductor de otel protejat împotriva coroziunii, cu grosimea de cel puțin 3 mm	100	50
- Funie din otel zincat	-	50
- Cupru	25	16

Tabelul A.5.4

Sectiunile minime ale conductoarelor de legare la pamânt (principale sau de ramificatie) montate în acelasi tub de protectie cu conductoarele de lucru, mm^2

Sectiunea conductorului de lucru	Cu Al	$\leq 2,5$	4	6	10	16
		≤ 4	6	10	16	25
Sectiunea minima a conductorului de legare la pamânt din cupru unifilar sau multifilar	Cu	4	6	6	10	16

În cazul cablurilor, pentru sectiuni ale conductoarelor de lucru pâna la 16 mm^2 inclusiv, sectiunea conductorului de protectie înglobat în acelasi cablu va avea o valoare egala cu sectiunea conductoarelor de lucru.

În cazul protectiei prin legare la nul, sectiunea minima a conductoarelor de protectie se va determina în conformitate cu conditiile indicate în STAS 12604/5-90 privind instalatiile de protectie prin legare la nul.

A.6. Obiecte lungi care ies din zona de protectie

A.6.1. Dirijarea distributiei potentialelor poate realiza o buna protectie, doar în imediata apropiere a instalatiei sau a echipamentului respectiv. Obiectele lungi, care sunt în contact cu instalatia de protectie sau puncte ale solului cu potentiale ridicate în cazul unui defect, pot prezenta tensiuni de atingere periculoase de-a lungul lor, datorita trecerii unor curenti prin ele. Se au în vedere, în special, urmatoarele obiecte si instalatii lungi:

- conductele de apa sau cu alte destinatii;
- sinele de cale ferata;
- învelisurile metalice ale cablurilor.

Potentialul într-un punct al obiectului lung are expresia:

$$U_x = I_p \cdot \sqrt{r \cdot r_p} \frac{\text{Ch} \sqrt{\frac{r}{r_p}} \cdot x}{\text{Sh} \sqrt{\frac{r}{r_p}} \cdot l} \quad (6.1)$$

în care:

U_x reprezinta tensiunea fata de un punct de potential nul (V);

I_p - curentul care intra într-un capat al obiectului lung (în punctul $x = 1$);

x - distanta de la capatul opus fata de punctul de intrare a curentului I_p (km);

l - lungimea obiectului lung (km);

r - rezistenta longitudinala pe unitatea de lungime (Ω/km);

r_p - rezistenta de trecere la pamânt pe unitatea de lungime (Ω/km).

Expresia potentialului U_x în functie de tensiunea de legare la pamânt U_p , este:

$$U_x = U_p \cdot \frac{\text{Ch} \sqrt{\frac{r}{r_p}} \cdot x}{\text{Ch} \sqrt{\frac{r}{r_p}} \cdot l} \quad (6.2)$$

A.6.2. Daca obiectul lung depaseste incinta sau zona de influenta a instalatiei de legare la pamânt, pentru micșorarea tensiunilor U_x pe obiectul lung, precum si a tensiunilor de atingere si de pas în apropierea acestuia, se vor aplica una sau mai multe din urmatoarele masuri, în functie de valorile U_p , x si l :

- marirea rezistentei longitudinale r prin intercalarea unor elemente izolante în lungul obiectului; de exemplu, sinele de cale ferata vor fi prevazute cu trei joante, izolate la iesirea acestora din incinta respectiva;

- micșorarea rezistentei de trecere la pamânt r_p prin legarea pe traseu la prizele de pamânt naturale întâlnite; de exemplu, în cazul conductelor metalice instalate în tuneluri se vor realiza legaturi electrice între conducte si între acestea si armatura metalica a tunelului de beton armat;

- legarea obiectelor la instalatiile de legare la pamânt din incinta în care patrunde obiectul respectiv; de exemplu, învelisurile metalice ale cablurilor si ale conductelor care ies din incinta si ajung în incinta altei unitati se vor racorda si la instalatia de legare la pamânt a acestora din urma;

- realizarea unor dirijari a distributiei potentialelor în jurul obiectelor accesibile; de exemplu, în jurul hidrantilor de apa racordati la o retea de apa, care depaseste zona de influenta a instalatiei de legare la pamânt.

A.6.3. La cablurile de telecomunicatii, de comanda sau control, care intra în incinta statiilor si centralelor electrice, se va avea în vedere pericolul strapungerii izolatiei conductoarelor în cazul unei puneri la pamânt.

Tensiunea la care este solicitata izolatiea cablului U_r trebuie sa satisfaca relatia:

$$U_r \leq 0,85 \cdot U_i$$

în care:

U_i reprezintă tensiunea de încercare a izolației cablului respectiv.

Tensiunea la care este supusă izolația cablului se determină cu relația:

$$U_r = U_p \cdot r = I_p \cdot R_p \cdot r$$

unde:

U_p reprezintă tensiunea instalației de legare la pământ;

r - factorul de reducere a cablului respectiv (vezi STAS 832-79).

A.6.4. Pentru micșorarea valorii tensiunii care solicită izolația cablului se vor folosi cablurile cu înveliș metalic și armate cu factori de reducere cât mai mici, și anume, cu conductibilitate cât mai mare și permeabilitate cât mai bună.

În cazul stațiilor cu tensiunea de 110 kV sau mai mult, se vor utiliza cabluri cu izolația încercată la o tensiune cel puțin egală cu 4 kV, timp de 2 minute.

A.6.5. În cazul intercalării unor elemente izolante de rezistență r_z relațiile de mai sus devin:

$$I_{pc} = U_p \frac{1}{\sqrt{r \cdot r_p} \operatorname{ctgh} \sqrt{\frac{r \cdot l}{r_p}} \cdot l + r_z}$$

și

$$U_x = U_p \frac{\operatorname{ch} \sqrt{\frac{r \cdot l}{r_p}} \cdot x}{\operatorname{ch} \sqrt{\frac{r \cdot l}{r_p}} \cdot l + r_z \frac{\operatorname{sh} \sqrt{\frac{r \cdot l}{r_p}} \cdot l}{\sqrt{r \cdot l \cdot r_p}}}$$

Dacă se acoperă în orice situație un coeficient de atingere de cel mult $k_a = 0,8$, $U_a = 0,8 U_x$ și rezulta condiția:

$$0,8 \cdot U_p \frac{\operatorname{ch} \sqrt{\frac{r \cdot l}{r_p}} \cdot x}{\operatorname{ch} \sqrt{\frac{r \cdot l}{r_p}} \cdot l + r_z \frac{\operatorname{sh} \sqrt{\frac{r \cdot l}{r_p}} \cdot l}{\sqrt{r \cdot l \cdot r_p}}} \leq U_a$$

De aici reiese condiția pentru elementele izolante care trebuie intercalate pentru limitarea tensiunii de atingere sub valorile admise, respectiv determinarea rezistenței de izolare r_z a acestor elemente, și anume:

$$r_z \geq 0,8 \sqrt{r \cdot l \cdot r_p} \frac{U_p}{U_a} \frac{\operatorname{ch} \sqrt{\frac{r \cdot l}{r_p}} \cdot x}{\operatorname{sh} \sqrt{\frac{r \cdot l}{r_p}} \cdot l} - \sqrt{r \cdot l \cdot r_p} \operatorname{ctg} g \sqrt{\frac{r \cdot l}{r_p}} \cdot l$$

Pentru siguranță, totdeauna trebuie suplimentat numărul elementelor izolante rezultat din calculul de mai sus cu cel puțin un element.

Dacă elementele lungi, de exemplu anumite conducte, sunt izolate față de pământ, rezulta necesar să se determine tensiunea de atingere în incinta în care intra conducta, respectiv la instalația de legare la pământ de rezistență R_p la care este racordat capatul din instalația electrică cu defect.

Se notează cu:

R_{pc} - rezistența de dispersie a instalației de legare la pământ la care se racordează capatul opus al conductei;

Z_{co} - impedanța echivalentă de calcul a conductorului constituit de conductă în cauză;

r_{zc} - rezistența de izolare a elementelor izolante intercalate pentru limitarea tensiunii de atingere;

i_{pc} - componenta din curentul I_p care trece prin priza de pământ de rezistența R_{pc} de la capatul opus al conductei;

U_{pc} - tensiunea prizei de pământ de rezistența R_{pc} ;

$$U_{pc} = R_{pc} \cdot i_{pc}$$

k_a - coeficientul de atingere la instalația de legare la pământ de rezistența R_{pc} .

Curentul i_{pc} se poate determina cu următoarea relație:

$$i_{pc} = I_p \frac{R_p}{R_p + Z_{co} + r_{zc} + R_{pc}}$$

Rezultă următoarea condiție:

$$k_a \cdot U_{pc} = k_a \cdot R_{pc} \cdot i_{pc} \leq U_a,$$

U_a fiind tensiunea de atingere maxim admisă în cazul unui defect în instalația electrică cu defect, în funcție de categoria zonei și timpul de declanșare.

Condiția de mai sus se poate scrie astfel:

$$k_a r_p I_p \frac{R_p}{R_p + Z_{co} + r_{sc} + R_{pc}} \leq U_a$$

sau

$$\frac{k_a U_p}{1 + \frac{R_p + Z_{co} + r_{zc}}{R_{pc}}} \leq U_a$$

De aici rezultă condiția pentru elementul izolant intercalat:

$$r_{zc} \geq R_{pc} \left(k_a \frac{U_p}{U_a} - 1 \right) - (R_p + Z_{co})$$

Pentru siguranța totdeauna trebuie suplimentat numărul elementelor izolante rezultate din calculul de mai sus, cu cel puțin încă un element izolant.

**Determinarea curenților de scurtcircuit care trec prin priza de legare
la pământ a stâlpilor liniilor electrice aeriene**

Din curentul total de scurtcircuit (de defect) I_d care apare la stâlpul unei linii, numai o cota parte i_p se scurge prin stâlp spre pământ, deci prin priza de legare a stâlpului la pământ, astfel:

$$i_p = \varepsilon_p \cdot I_p \quad (7.1)$$

în care:

i_p este curentul care trece prin priza de pământ (A);

ε_p - coeficientul de repartitie pentru curentul care trece prin priza;

I_p - curentul de scurtcircuit monofazat al liniei, în punctul considerat și la timpul considerat al protecției (A) ($I_p = I_d$).

În cazul alimentării liniei de la ambele capete, curentul I_d se compune astfel:

$$I_d = I_{dA} + I_{dB}$$

unde:

I_{dA} și I_{dB} sunt valorile curenților de scurtcircuit monofazat în punctul considerat, provenind din stația de la capatul A, respectiv, capatul B al liniei.

Coeficientul ε_p se determina cu relația:

$$\varepsilon_p = \frac{r \cdot R_F}{R_p} \quad (7.2)$$

în care:

r este factorul de reducere a conductorului (conductoarelor) de protecție;

R_F - impedanța totală la locul de scurtcircuit;

R_p - rezistența de dispersie a prizei de pământ de la stâlp.

Marimile enumerate se calculează astfel:

$$r = \frac{Z_{v\mu}}{Z_v} \quad (7.3)$$

$$R_F = \frac{W_f \cdot R_p}{W_r + 2R_p} \quad (7.4)$$

în care:

$Z_{v\mu}$ reprezintă impedanța mutuală echivalentă a sistemului de conductoare active și de protecție ale liniei;

Z_v - impedanța proprie echivalentă a conductorului de protecție pentru sistemul de conductoare etc.;

W_r - impedanța de lant, adică impedanța cailor de întoarcere a curentului de scurtcircuit de la locul de defect la sursa.

Acestea din urmă se calculează în funcție de sistemul conductoarelor active și de protecție ale liniei și în funcție de locul unde se considera scurtcircuitul.

Aceste calcule sunt dificile și, de aceea, se vor efectua numai atunci când se urmărește o mare precizie a rezultatelor. Modulurile de întocmire a calculelor sunt indicate în literatura de specialitate.

În calculele cu o aproximație acceptabilă se pot lua în considerare pentru coeficienții de repartitie ε_p valorile din tabelul A.7.1.

Pentru determinările prealabile ale curenților i_p care trec prin prizele de pământ ale stâlpilor, se vor folosi diagramele din figurile A.7.1 și A.7.2, care indică $r \cdot R_F = \frac{U_p}{I_p}$, în funcție de rezistența

medie a prizelor de pământ de la stâlpii liniei electrice aeriene respective R_p de tipul conductorului de protecție și de deschiderea medie între stâlpi și pentru $\rho = 100 \Omega\text{m}$.

U_p este tensiunea prizei de pământ la locul defectului;

I_p - curentul total de punere la pământ la locul defectului.

Curbele 3a, 3b se refera la tensiunea de 400 kV.

Curba superioara este pentru tensiunea de 220 kV, iar cea inferioara pentru 110 kV.

Curentul prin priza de pamânt a stâlpului rezulta din relatia:

$$i_p = r \cdot R_F \cdot \frac{I_p}{R_p} \quad (7.5)$$

unde:

R_p este rezistenta de dispersie a prizei de pamânt de la stâlpul considerat.

Pentru determinarea tensiunilor de atingere si de pas este necesar sa se cunoasca tensiunea totala la stâlp.

Ea se obtine din relatia:

$$U_p = r \cdot R_F \cdot I_p \quad (7.6)$$

În figura A.7.1 este prezentat produsul ($r \cdot R_p$) în functie de rezistenta medie a prizelor de pamânt de la stâlpii liniei respective, de tipul conductorului de protectie al liniei si de deschiderea medie între stâlpi, pentru o rezistivitate medie a solului $\rho = 100 \Omega m$.

1 reprezinta conductorul de protectie OL 70 mm²; deschiderea între stâlpi:

a - 400 m; b - 300 m; c - 200 m;

2 - conductorul de protectie OLS 95 AL/50, OL;
deschiderea între stâlpi: a - 400 m; b - 300 m; c - 200 m;

3 - conductorul de protectie OL AL S 150/AL/95 OL;
deschiderea între stâlpi: a - 400 m; b - 300 m; c - 200 m;
(Curba superioara este pentru tensiunea de 220 si 400 kV, iar cea inferioara pentru 110 kV).

În figura A.7.2 este prezentat produsul ($r \cdot R_p$) în functie de rezistenta medie a prizelor de pamânt de la stâlpii liniei respective, de tipul conductorului de protectie al liniei si de deschiderea medie între stâlpi, pentru o rezistivitate medie a solului $\rho = 100 \Omega m$.

1, 2 sunt conductoarele de protectie OL 70 mm²;
deschiderea între stâlpi: a - 400 m; b - 300 m; c - 200 m;

2, 2 sunt conductoarele de protectie OL AL 150 AL/50 OL;
deschiderea între stâlpi: a - 400 m; b - 300 m; c - 200 m;

2, 3 sunt conductoarele de protectie OL AL 150 AL/95 OL;
deschiderea între stâlpi: a - 400 m; b - 300 m.

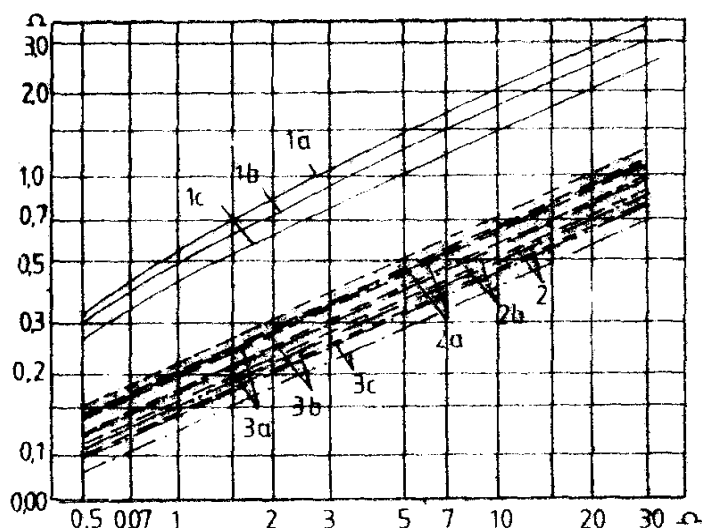


Figura A.7.1- Produsul (rR_p) în functie de rezistenta medie a prizelor de pamânt de la stâlpii liniei respective, de tipul conductorului de protectie al liniei si de deschidere medie între stâlpi, pentru o rezistivitate medie a solului $\rho = 100 \Omega m$:

1 - conductor de protectie OL 70 mm²; deschiderea între stâlpi a=400 m; b=300 m; c=200 m

2 - conductor de protectie OL S 95 AL /50 OL, deschiderea între stâlpi a=400 m; b=300 m; c=200 m

3 - conductor de protectie OL AL S 150 AL /95 OL, deschiderea între stâlpi a=400 m; b=300 m; c=200 m
(curba superioara este pentru tensiunea de 220 si 400 kV, iar cea inferioara pentru 110 kV).

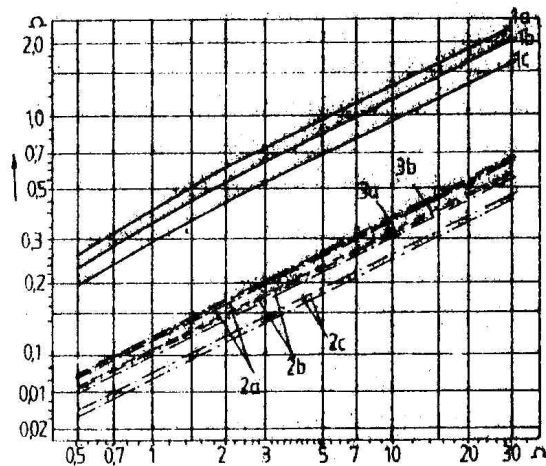


Figura A.7.2- Produsul (rR_i) în funcție de rezistența medie a prizelor de pamânt de la stâlpii liniei respective, de tipul conductorului de protecție al liniei și de deschidere medie între stâlpi, pentru o rezistivitate medie a solului $\rho = 100 \Omega\text{m}$:

- 1 - conductoare de protecție OL 70 mm²; deschiderea între stâlpi a=400 m; b=300 m; c=200 m
- 2 - conductoare de protecție OL AL 150 AL /60 OL, deschiderea între stâlpi a=400 m; b=300 m; c=200 m
- 3 - conductoare de protecție OL AL 150 AL /95 OL, deschiderea între stâlpi a=400 m; b=300 m

Tabelul A.7.1

Tipul liniei	Valorile coeficienților de repartitie. Materialul conductoarelor de protecție	
	Otel	Otel - Aluminu
LEA 110 kV simplu și dublu circuit și LEA 220 kV, dublu circuit cu un conductor de protecție	0,20 - 0,24	0,08 - 0,12
LEA 220 kV și 400 kV simplu circuit, cu două conductoare de protecție	0,10 - 0,12	0,04 - 0,06

A.8 Verificarea parametrilor unei instalatii de legare la pamânt

A.8.1. Verificarea unei instalatii de legare la pamânt trebuie sa se efectueze numai prin masurari pentru determinarea principalilor parametrii cum sunt:

- a) rezistenta de dispersie R_p ;
- b) tensiunea totala U_p , tensiunile de atingere U_a , tensiunile de pas U_{pas} , tensiunile prin cuplaj rezistiv;
- c) continuitatile electrice a legaturilor dintre elementele instalatiei de legare la pamânt cum sunt:
 - legaturile la prizele de pamânt;
 - legaturile în rețeaua conductoarelor principale de legare la pamânt;
 - legaturile de ramificatie de la elementele care trebuie legate la conductoarele principale de legare la pamânt;
 - legaturile între prizele de pamânt ale obiectivelor din incinta;
 - legaturile conductoarelor de protectie ale LEA la prizele de pamânt ale statiilor de la capete.

A.8.2. Pentru efectuarea masurarilor privind rezistentele electrice de dispersie a prizelor de pamânt, precum si privind determinarea tensiunilor U_p , U_a , U_{pas} si a coeficientilor de atingere k_a si de pas k_{pas} trebuie realizate totdeauna doua prize de pamânt de masurare ajutatoare si anume :

- o priza de pamânt auxiliara P_A pentru închiderea circuitului curentului de masurare;
- o priza sonda P_S pentru realizarea unui punct de referinta pentru tensiunile de masurare.

În cazul trecerii unui curent electric I printr-o priza de pamânt, solul din vecinatatea electrozilor prizei respective opune practic rezistenta electrica totala la trecerea acestui curent; rezistenta electrica a electrozilor prizei este neglijabila fata de rezistenta electrica a solului prin care se închide curentul disipat de priza de pamânt respectiva.

Daca se considera densitatea de curent j , exprimata prin raportul dintre curentul electric I si sectiunea S prin care acesta trece $j = \frac{I}{S}$, densitatea de curent este maxima în imediata apropiere a electrozilor si scade pe masura îndepărtării de electrozii prizei, deoarece sectiunea S din sol creste continuu. La o anumita distanta de electrozii prizei densitatea de curent j devine practic egala cu zero; se considera ca se anuleaza, când sectiunea din sol este practic foarte mare.

Zona în care densitatea de curent este practic nula se considera zona de potential nul. În conformitate cu pct.1.4.1 din STAS 8275-87 zona de potential nul (sau pamântul de referinta) este zona în care tensiunea între doua puncte ale suprafetei solului este mai mica de 0,3 % din tensiunea totala a prizei la trecerea curentului de defect prin aceasta.

Rezistenta electrica pe care o opune solul la trecerea curentului prin priza de pamânt, numita rezistenta de dispersie a acesteia, este cuprinsa între suprafetele electrozilor prizei de pamânt prin care trece curentul în pamânt si zona de potential nul.

Prin notiunea de priza de pamânt se înțelege atât electrodul (sau electrozii) acesteia cât si solul din vecinatatea suprafetei electrodului (electrozilor) pâna în zona de potetial nul.

Punctele de pe suprafata solului cuprinse în acest interval (între electrozii prizei si zona de potential nul) au potentialele electrice diferite. Potentialele cele mai mari vor fi chiar la electrozii prizei si devin practic egale cu zero în zona de potential nul. Diferentele de potentiale reprezinta tensiuni pe rezistenta electrica constituita din solul cuprins între suprafata electrozilor prizei si zona de potential nul.

În cazul trecerii curentului printr-o priza de pamânt, tensiunea totala a acesteia U_p reprezinta produsul dintre rezistenta electrica a pamântului R_p (numita rezistenta de dispersie a prizei) si curentul de punere la pamânt I_p :

$$U_p = R_p \cdot I_p$$

Se neglijeaza rezistenta electrica proprie a electrozilor din care este constituita priza de pamânt deoarece rezistivitatea acestora este mult mai mica decât rezistivitatea solului. Rezistivitatea otelului din care se executa în cele mai dese cazuri electrozii prizelor este $\rho_{ol} \cong 2 \cdot 10^{-7} \Omega m$. Rezistivitatea solurilor cel mai des întâlnite este $\rho_s \cong 10^2 \Omega m$. Rezulta un raport de ordinul 10^9 între cele doua categorii de rezistivitati.

În cazul unui contact bun între electrozi si solul înconjurator, rezistenta de dispersie a prizei R_p este practic determinata de rezistivitatea solului si dimensiunile electrozilor, respectiv suprafata laterala a acestora prin care se disipeaza curentul.

Dupa cum s-a aratat mai sus, solul din imediata apropiere a electrozilor prizei prezinta rezistenta cea mai mare, deoarece curentul se închide prin suprafete relativ mici si anume cele oferite de suprafetele laterale ale electrozilor. Datorita acestui fapt densitatile de curent cele mai mari sunt în apropierea electrozilor. Pe masura îndepartarii de acestia, solul ofera suprafete din ce în ce mai mari astfel încât densitatile de curent scad continuu. In aceiasi masura scad si potentialele diferitelor puncte ale solului, acestea fiind proportionale cu densitatile de curent. La o anumita distanta de electrozii prizei se ajunge în zona unde potentialele sunt practic nule.

Daca se masoara potentialele la suprafata solului si se trec în diagrama se obtine o curba a potentialelor. Multimea acestor curbe în jurul unei prize formeaza o suprafata de forma unui hiperboloid; este numita pâlnia potentialelor.

Ordonata unui punct de pe curba potentialelor reprezinta valoarea potentialului unui punct corespunzator de pe suprafata solului. Potentialul maxim este cel al electrozilor prizei si reprezinta chiar tensiunea totala a prizei U_p . Aceasta tensiune se masoara practic între electrozilor prizei si un punct din zona de potential.

Pentru identificarea zonei de potential nul se procedeaza astfel: se citesc tensiunile pe voltmetrul U având o borna legata la electrozilor prizei, iar a doua la o sonda care se muta la diferite distante de electrozilor prizei. Pe masura îndepartarii de acesta, valorile citite vor creste continuu, însa din ce în ce mai încet. La depasirea unei anumite distante, cresterile sunt foarte mici sau nesensibile astfel încât valorile citite sunt practic constante: înseamna ca s-a intrat în zona de potential nul, iar valoarea citita reprezinta tensiunea totala a prizei $U_p = R_p \cdot I_p$. În conformitate cu standardul 8275-87 în esenta zona de potential nul se defineste ca zona în care potentialele electrice, la trecerea unui curent prin priza de pamânt sunt neglijabile fata de potentialul electrozilor (electrozilor) acesteia (condiderat ca potentialul cu valoarea cea mai mare).

A.8.3. Masurarea rezistentei de dispersie

Pentru masurarea rezistentei de dispersie a prizei de pamânt R_p este necesara realizarea unui circuit electric de masurare constituit din priza de pamânt care se masoara R_p prin care trece în sol curentul de masura, o alta priza de pamânt prin care trebuie sa se închida curentul de masura, numita priza auxiliara, notata cu R_A . Deci montajul de masurare trebuie sa cuprinda întotdeauna o sursa de energie electrica, priza de pamânt supusa masurarii R_p si o priza de pamânt auxiliara R_A .

Sursa de energie are tensiunea U . Tensiunea prizei de pamânt care se masoara se noteaza cu U_p si reprezinta diferenta de potential dintre potentialul electrozilor (electrozilor) prizei si potentialul considerat nul din zona de potential nul.

Tensiunea prizei auxiliare se noteaza cu U_A si reprezinta diferenta de potential dintre potentialul electrozilor (electrozilor) prizei auxiliare si potentialul nul din zona de potential nul.

Distanta dintre priza de pamânt care este supusa masurarii R_p si priza auxiliara R_A trebuie sa fie suficient de mare astfel încât între cele doua prize de pamânt (electrozii si solul din vecinatatea acestora) sa se afle o zona de potential nul în care potentialele sa fie neglijabile fata de potentialul electrozilor prizei R_p cât si fata de potentialul electrozilor prizei R_A .

În acest mod tensiunea U_p a prizei supuse masurarii este tensiunea pe rezistenta de dispersie a acesteia R_p , iar U_A a prizei auxiliare care este tensiunea pe rezistenta de dispersie a acesteia din

urma R_A . Suma celor doua tensiuni U_p si U_a este tensiunea sursei U (daca se neglijeaza în suma caderile de tensiune pe conductoarele de legatura a circuitului de masura în care se stabileste curentul de masura I_p).

$$U = U_p + U_A \quad \text{unde :} \quad U_p = R_p \cdot I_p \quad \text{si} \quad U_A = R_A \cdot I_p$$

Suprafata solului din jurul electrozilor prizei de pamânt pâna în zona de potential nul se numeste *zona de influenta a prizei de pamânt*. Intinderea acestei zone difera mult de la o priza la alta si depinde de forma, dimensiunile si adâncimile de îngropare a electrozilor prizei de pamânt.

Daca se continua masurarea potentialelor spre priza auxiliara A (deplasându-se sonda S din zona de potential nul) se intra în zona de influenta a prizei auxiliare A.

Raportul dintre tensiunea totala U a prizei supuse masurarii (când priza sonda P_s se afla în zona de potential nul) si curentul de masura I_p reprezinta rezistenta de dispersie a prizei de pamânt R_p :

$$R_p = \frac{U_p}{I_p}$$

Deci pentru determinarea valorii rezistentei de dispersie R_p se va avea în vedere ca voltmetrul sa se conecteze între electrodul (electrozii) prizei supuse masurarii si sonda S introdusa în zona de potential nul.

În cazul în care nu se stabileste cu exactitate zona de potential nul, valoarea obtinuta pentru rezistenta de dispersie R_p va fi eronata. Eroarea va fi cu atât mai mare cu cât sonda S se introduce în sol la o distanta mai mare fata de zona de potential nul astfel:

a) - daca se introduce sonda S într-un punct k din zona de influenta a prizei de pamânt R_{pm} supusa masurarii, valorile obtinute vor fi mai mici decât cea reala R_p deoarece pe voltmetru se va citi valoarea $U_p - U_k$ unde U_k este potentialul punctului k.

$$R_{pm} = \frac{U_p - U_k}{I_p} = R_p - R_k, \quad \text{unde:}$$

R_k - este portiunea de rezistenta electrica a solului cuprinsa între punctul k si zona de potential nul.

b) - daca se introduce sonda S într-un punct k din zona de influenta a prizei auxiliare, valorile obtinte R_{pm} vor fi mai mari decât cele reale deoarece pe voltmetru se va citi valoarea $U_p + U_k$, unde U_k este potentialul punctului k.

$$R_{pm} = \frac{U_p + U_k}{I_p} = R_p + R_k, \quad \text{unde:}$$

R_k - este aici portiunea de rezistenta electrica a solului cuprins între punctul k din zona de influenta a prizei auxiliare A si zona de potential nul.

Erorile cele mai mari vor rezulta când rezistenta de dispersie R_p este mult mai mica decât cea a prizei auxiliare A. De exemplu daca R_{ps} este de ordinul ohmiilor (1...9 ohmi) si R_A este de ordinul sutelor de ohmi (100...900 ohmi) intrarea cu sonda S chiar foarte putin în zona de influenta a prizei auxiliare A eroarea poate fi deosebit de mare, de ordinul ohmiilor. De exemplu, daca valorile reale sunt $R_p = 3$ ohmi si $R_A = 300$ ohmi, iar sonda S se introduce în zona de influenta a prizei auxiliare A într-un punct k care ar conduce la $R_k = 30$ ohmi, ceea ce reprezinta doar 10% din R_A . Într-un astfel de caz ar rezulta la masurare:

$$R_{pm} = R_p + R_k = 3 + 30 = 33 \text{ ohmi,}$$

ceea ce reprezinta o valoare deosebit de mare fata de cea reala de 3 ohmi; eroarea va fi de \cong 1000%, ceea ce este cu totul neacceptabil. Astfel de erori pot apare cu usurinta în special în cazul

prizelor de pamânt cu electrozii dispersati pe întindere de teren mare cum este cazul stâlpilor de JT ale caror prize de pamânt sunt legate între ele prin conductorul de nul al LEA de JT; se are în vedere cazul în care valoarea rezistentei de dispersie R_A este mult mai mare decât cel al valorii rezistentei de dispersie echivalente R_p a prizelor supuse masurarii.

Orice montaj electric pentru masurarea rezistentei de dispersie a unei prize de pamânt trebuie sa cuprinda:

- o sursa de energie electrica pentru stabilirea unui curent de masura prin priza de pamânt supusa masurarii;
- o priza auxiliara P_A pentru închiderea curentului de masura I_p ;
- o priza sonda P_S pentru masurarea diferentelor de potentiale fata de punctul de referinta din zona de potential nul;
- aparate de masura pentru urmatoarele doua variante:

a) - citirea curentului de masura I_p cu ajutorul unui ampermetru si a diferentei de potential (tensiunea prizei) U_p cu ajutorul unui voltmetru; în acest caz se determina valoarea rezistentei de

dispersie R_p din raportul: $R_p = \frac{U_p}{I_p}$, cu metoda cunoscuta sub denumirea de metoda volt - ampermetru;

b) - citirea directa a valorii rezistentei de dispersie R_p , în cazul aparatelor speciale pentru masurarea rezistentelor de dispersie, cu patru borne, din care doua pentru stabilirea curentului de masura (o borna pentru priza supusa masurarii si o borna pentru priza auxiliara) si doua borne de potential (o borna pentru electrozii prizei supuse masurarii si o borna pentru priza sonda S).

A.8.4. Determinarea potentialelor U_k a tensiunilor de atingere U_a si de pas U_{pas}

Pentru determinarea potentialelor U_k si a tensiunilor de atingere U_a si de pas U_{pas} este necesar sa se determine modul de distributie a potentialelor la suprafata solului în zona de influenta a prizei de pamânt supuse masurarii. Se foloseste în acest scop acelasi montaj (expus mai sus) pentru determinarea rezistentei de dispersie R_p .

Valorile potentialelor U_k se pot determina în doua variante:

- a) - masurarea diferentei de potential (tensiunea) fata de zona de potential nul $U_c = U_k$;
 - b) - masurarea diferentei de potential fata de un punct al electrozilor prizei de pamânt când $U_c = U_p - U_k$; $U_p = U_c + U_k$.
- Prin U_c s-a notat tensiunea citita pe voltmetru.

În **variante a)** de mai sus valoarea U_c (cea citita pe voltmetru) reprezinta chiar valoarea potentialului U_k în punctul de pe sol, deoarece s-a masurat diferenta de potential fata de punctul de referinta din zona de potential nul.

În **variante b)** de mai sus voltmetrul este racordat la electrozii prizei de pamânt supuse masurarii care are potentialul U_p si la o sonda introdusa în punctul k de pe suprafata solului care are potentialul U_k care trebuie determinat cu relatia $U_k = U_p - U_c$.

Potentialul U_p reprezinta practic tensiunea fata de zona de potential nul si deci reprezinta tensiunea U_p a prizei supuse masurarii determinata prin citirea pe voltmetru când acesta este racordat la priza sonda S aflata în zona de potential nul.

Rezulta ca: $U_c = U_p - U_k$, iar $U_k = U_p - U_c$

Daca se determina valorile potentialelor U_k în diferite puncte de pe sol k, fata de zona de potential nul (într-un numar suficient de mare) se poate desigur obtine diagrama de distributie a potentialelor la suprafata solului. Se va putea obtine curba de variatie a potentialelor pe o anumita directie,

repectiv pe o linie dreapta între un punct de pe suprafața electrozilor prizei de pământ și un punct din zona de potențial. Din curbele pe diferite direcții se vor putea obține curbele de același potențial pe suprafața solului din vecinătatea prizei de pământ cuprinsă între suprafața terenului ocupată de aceasta din urmă și zona de potențial nul.

Tensiunea de atingere U_a la care poate fi supus un om se va determina cu relația :

$$U_a = U_p - U_k \text{ unde:}$$

k - fiind punctul considerat de pe suprafața solului în care sta omul când atinge un obiect legat la priza de pământ.

Tensiunea de pas U_{pas} la care poate fi supus un om se va determina din relația:

$$U_{pas} = U_{k1} - U_{k2},$$

k_1 și k_2 - fiind două puncte de pe suprafața solului aflate la o distanță egală cu lungimea pasului considerat;

Coeficientul de atingere k_a prin definiție este:

$$k_a = \frac{U_p - U_k}{U_p}$$

Coeficientul de pas k_{pas} prin definiție este:

$$k_{pas} = \frac{U_{k1} - U_{k2}}{U_p}$$

unde notațiile sunt cele de mai sus.

Pentru măsurarea potențialelor U_k la suprafața solului față de zona de potențial nul, este necesar ca voltmetrul să se lege între punctul k și un punct din zona de potențial nul, măsurându-se astfel diferența de potențial dintre punctul k și un punct de referință din zona de potențial nul.

Pentru determinarea tensiunii efective la care este supus omul U_h trebuie să se țină seama atât de distribuția potențialelor la suprafața solului cât și de rezistența de trecere a curentului prin talpile omului I_h la atingerea cu picioarele solului. Această rezistență se notează cu R_d și depinde de rezistivitatea solului.

În cazul determinării tensiunii de atingere, $R_{d_a} = 1,5\rho$

În cazul determinării tensiunii de pas $R_{d_{pas}} = 6\rho$

Rezistența corpului omului se consideră $R_h = 3000\ \Omega$

Prin definiție raportul $\frac{R_h + R_{d_a}}{R_h}$ se numește coeficient de amplasament la atingere și se notează

$$\text{cu: } a_a = 1 + \frac{R_{d_a}}{R_h}.$$

Prin definiție raportul $\frac{R_h + R_{d_{pas}}}{R_h}$ se numește coeficient de amplasament de pas și se notează

$$\text{cu: } \alpha_{pas} = 1 + \frac{R_{d_{pas}}}{R_h}$$

Valoarea tensiunii la care este supus omul la atingere va fi :

$$U_{h_a} = R_h \cdot I_h = U_p \frac{k_a}{\alpha_a}, \quad \text{iar la pas: } U_{h_{pas}} = R_h \cdot I_h = U_p \frac{k_{pas}}{\alpha_{pas}}$$

Instalatia de legare la pamânt este corespunzatoare daca $U_{h_a} \leq U_a$ si $U_{h_{pas}} \leq U_{pas}$, unde U_a si U_{pas} sunt valorile maxime admise de reglementarile în vigoare la noi în tara.

Pentru determinarea valorilor U_{h_a} si $U_{h_{pas}}$ se pot folosi doua variante de montaje la masurari:

- a) metoda indirecta
- b) metoda directa

Varianta a) metoda indirecta

Aceasta metoda impune realizarea montajului voltmetru-ampermetru pentru determinarea urmatoarelor parametri:

- rezistenta de dispersie R_p ;
- tensiunea totala a prizei de pamânt U_p considerând curentul maxim de defect la priza respectiva $I_{p_{max}}$: $U_p = R_p \cdot I_{p_{max}}$;
- coeficientul de atingere maxim k_a si cel de pas maxim k_{pas} din distributia potentialelor la suprafata solului obtinuta conform celor aratate mai sus.

Pentru determinarea coeficientilor de amplasament α_a si α_{pas} se foloseste fie :

- calculul acestora în functie de rezistivitatea solului :

$$\alpha_a = 1 + \frac{1,5\rho}{3000} \quad \text{si} \quad \alpha_{pas} = 1 + \frac{6\rho}{3000}$$

- valorile indicate în standardul STAS 12604/5-90 în cazul acoperirii cu straturi izolante (pietris, beton, asfalt) astfel:

$\alpha_a = 2$ si $\alpha_{pas} = 5$ pentru piatra sparta (balast) de 15 cm grosime;

$\alpha_a = 3$ si $\alpha_{pas} = 9$ pentru dale de beton;

$\alpha_a = 5$ si $\alpha_{pas} = 17$ pentru asfalt de 2 cm grosime.

Pentru determinarea tensiunii U_{h_a} si $U_{h_{pas}}$ se folosesc relatiile :

$$U_{h_a} = U_p \frac{k_a}{\alpha_a} \leq U_a \quad \text{si} \quad U_{h_{pas}} = U_p \frac{k_{pas}}{\alpha_{pas}} \leq U_{pas}$$

Varianta b) Metoda directa

Aceasta metoda impune ca montajul de masurare sa cuprinda urmatoarele elemente :

- sursa de energie electrica;
- un ampermetru pentru controlul permanent a intensitatii curentului;
- un voltmetru pentru masurarea (citirea) directa a tensiunilor U_{h_a} si $U_{h_{pas}}$ pentru curentul I_d de masura;
- doi electrozi din placa metalica care simuleaza talpile picioarelor omului având urmatoarele dimensiuni:
 - * la placa rotunda $\Phi = 160$ mm;
 - * la placa patrata $a = 150$ mm;
 - * grosimea placilor $g = 10$ mm;
 - * pe fiecare placa trebuie o greutate de 35 kg care simuleaza greutatea corpului omului;
- o rezistenta $R_h = 3000 \Omega$, care simuleaza rezistenta corpului omului; curentul rezistentei se determina în functie de curentul I_p de masura.

În vederea determinarii tensiunilor U_{h_a} si $U_{h_{pas}}$ pentru curentul maxim de defect $I_{p_{max}}$ prin priza supusa masurarii este necesar ca valorile masurate cu metoda directa sa se multiplieze cu raportul

$$K = \frac{I_{p_{max}}}{I_{p_{m\grave{a}s\grave{u}r\grave{a}}} \quad \text{astfel :}$$

$$U_{h_a} = U_{h_a} \frac{I_{pmax}}{I_{pm\grave{a}s}} \leq U_a \quad \text{si} \quad U_{h_{pas}} = U_{h_{pas}} \frac{I_{pmax}}{I_{pm\grave{a}s}} \leq U_{pas}$$

U_a si U_{pas} fiind limitele maxime admise de reglementarile în vigoare (standardele STAS 2612 - 87 si STAS 12604/5-90).

Folosirea unui ampermetru pentru masurarea directa a curentului I_h în circuitul rezistentei R_h , care simuleaza rezistenta corpului omului, ar putea introduce erori mari la masurari, dat fiind ca în numeroase cazuri rezistenta interioara a ampermetrului r_a este comparabila cu valoarea rezistentei R_h .

Este necesar ca valoarea curentului I_h sa se obtina indirect prin masurarea tensiunii U_h pe rezistenta R_h si calcularea raportului tensiunii U_h/R_h , respectiv $I_h = U_h/R_h$.

Rezistenta interioara a voltmetrului r_v trebuie sa fie mult mai mare decât rezistenta R_h : $r_v \gg R_h$ pentru o masurare corecta: în acest scop este de preferat folosirea unui voltmetru electronic cu o rezistenta interioara r_v foarte mare, fata de care valoarea rezistentei R_h este neglijabila.

Pentru masurarile prin metoda directa pe lânga aparatele de masura trebuie pregatite urmatoarele accesorii:

a) - rezistenta R_h care simuleaza rezistenta corpului omului; este necesara folosirea unei rezistente cu valoarea fixa impusa de masurare si anume 3000 Ω (în cazul reglementarilor din tara noastra). Rezistenta R_h a fost dimensionata, încât sa fie stabila la curentul de masura pe durata masurarii.

Rezistenta folosita trebuie sa fie verificata cu un aparat de clasa 1 sau mai mica si considerata astfel cu o rezistenta etalon pentru masurari.

b) - placile care simuleaza talpile picioarelor omului care sta pe sol, se pot folosi doua tipuri de placi:

- placa rotunda cu diametrul $d=0,16$ m;
- placa patrata cu latura $a=0,15$ m.

Este indicat ca sub aceste placi (între placa si suprafata solului) sa se prevada o placa din plumb deformabila care sa poata urmari eventualele denivelari ale suprafetei solului pe care se aseaza.

Fiecare placa se compune astfel din doua componente:

- *partea superioara* confectionata din placa din otel, sau alt material de exemplu cupru, cu dimensiunile $d=0,16$ m la forma circulara a = 0,15 m la forma patrata grosimea minima trebuie sa fie $g=0,01$ m; pe aceste placi se fixeaza o borna pentru realizarea legaturilor electrice prin însurubare asigurata cu saibe si piulite;

- *partea inferioara* confectionata din tabla de plumb material având aceleasi dimensiuni cu placa superioara din otel sau cupru cu exceptia grosimii care are valoarea $g=1,5...2$ mm (maxim) pentru a realiza un contact electric bun atât cu suprafata solului cât si cu placa superioara.

Tehnica de executare a masurarilor la instalatiile de legare la pamânt pentru determinarea rezistentelor de dispersie R_p a tensiunilor totale U_p si a tensiunilor de atingere U_a si de pas U_{pas} , respectiv coeficientii de atingere k_a si de pas k_{pas} , foloseste de regula surse electrice de joasa tensiune cum sunt:

- sursa de c.c. sau sursa cu generator propriu actionat manual în cazul aparatelor de masura specializate pentru determinarea rezistentelor de dispersie ale prizelor de pamânt;
- sursa separata de curent, folosindu-se un transformator de separare sau un grup electrogen, în cazul masurarilor cu metoda volt-ampermetru.

În cazuri speciale pot fi determinate tensiunile U_p , U_a si U_{pas} respectiv k_a si k_{pas} la trecerea prin priza de pamânt a curentului de defect la tensiunea de lucru a instalatiei respective; aceasta constituie o proba pe "viu".

În toate cazurile se efectueaza masurarea rezistentei de dispersie a instalatiilor de legare la pamânt R_{ps} si a tensiunilor U_p , U_a si U_{pas} în corelare cu determinarea distributiei potentialilor în punctele unde tensiunile de pas pot fi cele mai mari cum sunt cele de la extremitatile instalatiei de legare la pamânt; pe suprafata retelei de dirijare a potentialilor în general $U_{pas} < U_a$.

Pentru efectuarea masurarilor cu metoda volt-ampermetru trebuie folosit într-o prima etapa un aparat, specializat pentru masurarea rezistentelor de dispersie a instalatiilor de legare la pamânt. Cu ajutorul unui astfel de aparat se determina rezistentele de dispersie a prizei de pamânt care se verifica R_p , a prizei de pamânt auxiliare R_{pA} si a prizei sonda R_{ps} . Cu valorile obtinute cu aparatul de masurare a rezistentelor de dispersie se poate aprecia curentul de masura în masurarile cu metoda volt - ampermetru.

Metoda de masurare volt- ampermetru necesita totdeauna o sursa de joasa tensiune, de masurare care trebuie sa fie independenta si izolata galvanic de sursele de energie locale, care alimenteaza în exclusivitate montajul electric de masurare.

În cazul folosirii montajului voltmetru - ampermetru sursele de energie pot fi:

- un transformator de separare de tensiune si putere corespunzatoare; prin definitie un transformator de separare alimenteaza un singur circuit electric; în cazul de fata circuitul de masurare;
- un grup electrogen de j.t. (120, 220 sau 380 V) (care alimenteaza în exclusivitate montajul electric de masurare) de o putere corespunzatoare;
- un transformator (sau mai multe transformatoare în serie) de sudura care au înfasurarile primare separate de cele secundare;
- un grup convertizor la care generatorul electric este separat galvanic de motorul de antrenare.

Prin definitie un transformator de separare alimenteaza un singur circuit electric; în cazul de fata circuitul de masurare.

Alegerea sursei de energie electrica se face tinând seama de urmatoarele:

- tensiunea nominala a sursei U ;
- valoarea estimativa a impedantei echivalente a circuitului de asura Z_m

compus din: impedanta echivalenta a conductorului dintre sursa de energie folosita si priza auxiliara Z_C , rezistenta de dispersie a prizei de pamânt supusa masurarii R_p , si rezistenta de dispersie a prizei auxiliare R_A , impedanta proprie a sursei de alimentare: $Z_m = Z_C + R_p + R_A$, R_p si R_A fiind determinate conform celor aratate mai sus cu ajutorul aparatului specializat pentru masurarea rezistentelor, de dispersie a prizelor de pamânt.

Valoarea impedantei echivalente a circuitului de masura Z_m depinde apreciabil de valoarea rezistentei de dispersie a prizei auxiliare R_A .

Valoarea curentului de masura se poate evalua (ca ordin de masura) din relatia $I_{pm} = U / Z_m$ unde U este tensiunea sursei de energie electrica. Valorile masurate depind direct de valoarea curentului de masura I_{pm} . Se are în vedere obtinerea unui curent de masura cât mai mare posibil pentru obtinerea unor valori masurate cât mai mari, respectiv a unor valori indicate de aparate cu erori cât mai mici posibile.

Valorile masurate ale tensiunilor U_{pm} , U_{am} si U_{pasm} se vor multiplica cu raportul K dintre curentul de calcul de punere la pamânt I si curentul de masura I_{pm} ($K = I / I_{pm}$). Valorile de calcul a tensiunilor sunt:

$$U_p = K U_{pm}$$

$$U_a = K U_{am}$$

$$U_{pas} = K U_{pasm}$$

Trebuie astfel sa se raporteze valorile determinate ale tensiunilor de atingere si de pas la valorile calculate ale curentilor de punere la pamânt în cazul unui defect cu punere la pamânt.

Marimile de curent si tensiune trebuie masurate cu aparate (voltmetre si ampermetre) de clasa 1 certificate metrologic si validate de catre S.C. Electrica - S.A. si / sau C.N. Transelectrica - S.A.

Efectuarea masurarilor printr-o proba "pe viu" cu un curent efectiv de defect la tensiunea liniei ofera rezultatele cele mai apropiate de realitate deoarece se pune în evidenta valoarea rezistentei de dispersie reale care este totdeauna mai mica decât la masurarea cu metoda volt - ampermetru cu sursa de joasa tensiune. La curenti mari se strapung cu arc electric toate spatiile dintre suprafata electrozilor si solul înconjurator rezultând o rezistenta de dispersie mai mica decât în cazul masurarilor cu curenti de la o sursa de joasa tensiune.

Astfel în cazul când pentru curentul prin priza de pamânt I_{pm} se folosește o punere la pamânt intentionata la priza de pamânt supusa verificarii folosindu-se ca sursa de alimentare linia respectiva se pune în evidenta avantajul obtinerii unor masurari cu erorile cele mai mici, în special pentru determinarea rezistentei de dispersie R_p si deci si a tensiunilor U_p , U_a si U_{pas} .

Masurarile în acest caz (al sursei de energie de înalta tensiune) trebuie efectuate totdeauna cu instalatii de înregistrare a marimilor masurate din urmatoarele motive:

- timpul masurarii este foarte scurt (0,2s...0,5s), dat fiind valoarea mare a curentului de punere la pamânt ;
- necesitatea înregistrarii concomitenta a marimilor ce trebuie masurate, data fiind variatia în timp a curentului de masura I_{pm} , variatia în timp a rezistentelor de dispersie a prizelor de pamânt R_p si R_{pA} variatia tensiunii rețelei de alimentare a punerii la pamânt voite si variatia tensiunilor U_p , U_a si U_{pas} .

La masurarile cu sursa de înalta tensiune totdeauna trebuie folosite reductoare de curent si de tensiune si transformatoare de separare (de izolare) pentru marimile care se înregistreaza pe oscilograf sau perturbograf digital.

Pentru efectuarea masurarilor cu aparatul specializat de masurat rezistenta de dispersie a prizelor de pamânt trebuie folosita o priza de pamânt auxiliara de curent P_A si o priza sonda S de potential ca punct de referinta în zona de potential nul. Se procedeaza în acelasi mod ca si la metoda volt-ampermetru. A se vedea cele aratate mai sus privind determinarea zonei de potential nul si de amplasare a prizelor de pamânt auxiliare P_A si a prizelor sonda S de potential (care constituie punctul de referinta din zona de potential nul).

În general aparatele specializate pentru masurarea rezistentei de dispersie a prizelor de pamânt au la fiecare aparat 4 borne astfel:

- doua borne de curent C_1 si C_2 ;
- doua borne de tensiune P_1 si P_2 .

La borna de curent C_1 se racordeaza conductorul de legatura cu priza de pamânt care se verifica.

La borna de curent C_2 se racordeaza conductorul de legatura cu priza de pamânt auxiliara P_A .

La borna de potential P_1 se racordeaza conductorul de legatura cu priza de pamânt care se verifica.

La borna de potential P_2 se racordeaza conductorul de legatura cu priza sonda S de potential din zona de potential nul.

În cazul în care la verificari se folosesc pentru legaturile conductoarelor de legatura, de lungime relativ mica (de ~ 50 m) la prizele auxiliare P_A si S , de regula bornele C_1 si P_1 ale aparatului se sunteaza, fiind astfel necesar un singur conductor de legatura a aparatului cu priza de pamânt care se verifica.

La unele aparate de constructie simplificata destinate pentru prize de pamânt cu un electrod sau cu un numar mic de electrozi, din fabricatie exista o singura borna accesibila pentru legatura cu priza de pamânt care se verifica, legaturile C_1 si P_1 fiind suntate în interiorul aparatului. Aparatul folosit trebuie sa fie certificat metrologic si validat de catre S.C. ELECTRICA - S.A.

Cu ajutorul aparatului specializat de masurarea rezistentelor de dispersie a prizelor de pamânt trebuie sa se verifice si prizele de pamânt auxiliare P_A si S astfel încât valorile rezistentelor de dispersie ale acestora sa fie compatibile cu rezistenta de dispersie a prizei de pamânt în cauza.

Un aparat specializat de performanta (de regula cu afisaj digital) trebuie sa furnizeze informatii (deosebit de importante privind rigurozitatea rezultatelor masurarilor) prin indicarea urmatoarelor:

- depasirea valorii limita a rezistentei de dispersie a prizei auxiliare P_A , respectiv a bunei legaturi electrice cu aceasta;
- depasirea valorii limita a rezistentei de dispersie a prizei sonda S de potential, respectiv a bunei legaturi electrice cu aceasta;
- existenta unei tensiuni, respectiv a unui curent perturbator, peste limita admisa pentru corecta functionare a aparatului;
- descarcarea bateriei (acumulatorului) de alimentare a circuitului de masurare, respectiv scaderea tensiunii de alimentare, sub limita admisa pentru functionarea corecta a aparatului;
- întreprunderea zonelor de influenta ale prizelor.

În cazul în care nu se dispune de un astfel de aparat, este necesar ca înainte de efectuarea măsurărilor să se verifice ca sunt asigurate condițiile pentru buna funcționare a aparatului și pentru obținerea unor rezultate corecte la efectuarea măsurărilor.

În toate cazurile este necesar ca, înainte de realizarea legăturilor electrice la bornele aparatului specializat pentru măsurarea rezistențelor de dispersie a prizei de pământ, să se determine cu un voltmetru valoarea tensiunii perturbatoare U_{p0} pe priza de pământ care se verifică, folosindu-se ca punct de referință priza sonda S amplasată în zona de potențial nul.

În cazul în care valoarea tensiunii perturbatoare U_{p0} măsurată este mai mare decât cea admisă, în vederea efectuării în bune condiții a măsurărilor de verificare a prizei de pământ este indicat să se scoată de sub tensiune instalația respectivă, sau să varieze frecvența sursei circuitului de măsurare.

Cu o aproximație acceptabilă, cu aparatul specializat pentru măsurarea rezistenței de dispersie a prizei de pământ, se poate determina curba de potențiale ale prizei de pământ care se verifică, precum și coeficienții de atingere k_a și de pas k_{pas} .

Se consideră valabile valorile r_p citite la aparat când priza sonda S de potențial se află în diferite puncte din zona de influență a prizei de pământ care se verifică.

Se are în vedere că la măsurări cu aparatul specializat pentru măsurarea directă a rezistențelor de dispersie ale prizei de pământ, curentul de măsură I_m , cu o aproximație accesibilă, se poate considera constant. În acest caz, deoarece $r_p = \frac{U}{I}$, rezultă că valoarea citită pe aparat când sonda S se află într-un punct k de pe suprafața solului din zona de influență a prizei de pământ care

se verifică, este $r_{pk} = \frac{u_k}{I_m}$.

Pentru diferite puncte $k_1, k_2 \dots k_m$ rezultă că se poate considera valoarea citită r_{pkn} direct proporțională cu potențialul U_{kn} deoarece practic se poate accepta ca I_m este constant în timpul măsurărilor.

În acest caz se poate scrie relațiile pentru coeficienții de atingere k_a și de pas k_{pas} astfel:

$$k_a = \frac{R_{ps} - r_{pk}}{R_{ps}} \quad \text{și} \quad k_{pas} = \frac{r_{pk1} - r_{pk2}}{R_{ps}}$$

Conștându-se valoarea rezistenței de dispersie a prizei de pământ care se verifică R_{ps} și curentul maxim de defect prin priza I_p se determină tensiunea totală de calcul a prizei U_p cu relația: $U_p = R_{ps} \cdot I_p$.

Determinându-se coeficientul de atingere maxim k_a și de pas k_{pas} conform celor arătate mai sus se determină tensiunea maximă de atingere U_a și de pas U_{pas} cu relațiile:

$$U_a = k_a \cdot U_p \quad \text{și} \quad U_{pas} = k_{pas} \cdot U_p$$

Pentru determinări riguroase se pot folosi plăci de contact cu solul în punctele k , folosindu-se schema de măsurare obișnuită, unde în locul sursei de alimentare a circuitelor de măsurare se consideră aparatul specializat pentru măsurarea rezistenței de dispersie a prizei de pământ.

După efectuarea măsurărilor este necesar ca la determinarea rezistenței de dispersie R_p să se țină seama de starea de umiditate a solului în timpul măsurării.

În conformitate cu standardul STAS 12604/5 - 90 anexa D, coeficientul care ține seama de umiditatea solului în timpul măsurării se notează cu ψ și are valorile din tabelul acestui standard, în funcție de adâncimea de îngropare a electrozilor prizei de pământ; se consideră electrozii care au cea mai mare pondere la determinarea rezistenței de dispersie R_p a prizei de pământ.

În cazul unui defect cu curent de punere la pământ I_p prin priza de pământ, în condițiile de a se folosi o sursă independentă de energie, separată galvanic, există doar pericolul să apară o tensiune, în circuitul de tensiune, mai mare decât valoarea maximă admisă prin aparatele de măsurare a tensiunii, ceea ce va determina afectarea acestora.

Pentru protecția personalului care participă la măsurări este suficientă măsura de a folosi cizme electroizolante.

La măsurările cu sursa de înaltă tensiune trebuie să se folosească reductoare de tensiune și de curent corespunzător alese. A se vedea cele indicate privind folosirea de transformatoare de separare (de izolare) pentru măsurările care se înregistrează pe oscilografe sau perturbografe digitale.

După realizarea completă a circuitelor de măsurare și de înregistrare și înainte de închiderea întreruptorului de înaltă tensiune pentru stabilirea curentului I_{pm} , la măsurare se va retrage, respectiv se va îndepărta de punctul de injecție a curentului și de aparatele folosite la măsurări.

După o perioadă de cel mult 0,3 ... 0,5 s, se va da comanda de deschidere a întreruptorului printr-un programator special de comandă de la distanță introdus în circuitul de măsurare, prin care se va întrerupe curentul I_{pm} , bineînțeles dacă nu a avut loc înainte declanșarea întreruptorului prin protecția de curent din stația de alimentare.

A.8.5. În stațiile electrice de înaltă tensiune de întindere relativ mare tehnica de executare a măsurărilor trebuie să cuprindă următoarele două etape:

ETAPA I - lucrările preliminare în care să fie realizate următoarele :

- a) măsurarea tensiunii perturbatoare U_0 pe instalațiile de legare la pământ;
- b) măsurarea tensiunii perturbatoare U_b pe prizele de pământ ale stâlpilor aferente stației electrice, respectiv care sunt legate la priza de pământ complexă a acesteia din urma de regulă, prin conductorul (conductoarele) de protecție al LEA;
- c) măsurarea rezistenței de dispersie ale prizelor de pământ R_p , R_{pA} și R_{pS} cu un aparat de măsură specializat pentru determinarea rezistențelor de dispersie ale prizelor de pământ; certificat metrologic și validat de către S.C. ELECTRICA - S.A sau C.N. Transelectrica S.A;
- d) de măsură în funcție de valorile tensiunilor perturbatoare U_0 , folosind una din următoarele pregătirea măsurărilor cu metoda volt-ampmetru, respectiv stabilirea soluției pentru injectarea curentului variante:
 - de la un transformator de separare sau de la un grup electrogen folosind o priză de pământ auxiliara de curent R_{pA} legată la un conductor (conductoarele) unei LEA de MT (fără conductor de protecție) ;
 - de la un transformator de separare sau de la un grup electrogen folosind o priză de pământ auxiliara amplasată în exteriorul stației la o distanță suficient de mare și legată la acesta printr-un conductor special destinat acestui scop; se va evita folosirea unui transformator de servicii interne Tsi, deoarece este deosebit de dificil de a fi izolat electric sigur (fără nici un cuplaj rezistiv) față de elementele legate la instalația de legare la pământ care se verifică prin măsurări.
- e) analiză și stabilirea soluției în cazul în care pentru injectarea curentului se impune executarea unor probe de scurtcircuit monofazat la tensiunea de lucru a rețelei (proba pe "vîu");

ETAPA II - lucrările pentru executarea măsurărilor asupra instalației de legare la pământ supusa verificării astfel:

- măsurarea rezistenței de dispersie a instalațiilor de legare la pământ R_{pS} și a tensiunilor U_p , U_a și U_{pas} prin metoda volt-ampmetru în corelare cu determinarea distribuției potențialelor în punctele unde tensiunile de pas pot fi cele mai mari cum sunt cele de la extremitățile instalației de legare la pământ; pe suprafața rețelei de dirijare a potențialelor în general $U_{pas} < U_a$
- verificarea continuității instalațiilor de legare la pământ prin metoda de injecție a curentului de la un transformator de separare de putere corespunzătoare; se pot folosi transformatoare de sudură care sunt practic transformatoare de separare; în acest caz se leagă în serie două sau mai multe transformatoare de sudură în funcție de tensiunea U care trebuie obținută la măsurări;
- verificarea continuității între două instalații de legare la pământ separate prin metoda de injecție a curentului de la un alt transformator de separare, respectiv de la un aparat de sudură.

De regulă probele și măsurările pentru determinarea experimentală a rezistenței de dispersie R_p și a tensiunilor U_p , U_a și U_{pas} , trebuie făcută la un curent pentru care tensiunea măsurată pe priză de pământ U_p respectă condiția $U_p > 10 U_0$ (cu o eroare acceptabilă la măsurări de 5 %). În cazul în care la măsurarea rezistenței de dispersie R_{pS} și a U_a și U_{pas} nu se poate respecta condiția ca $U_p > 10 U_0$ atunci trebuie procedat la deconectarea surselor care determină apariția supra-tensiunii U_0

sau probele si masurarile sa fie executate cu înregistrarea marimilor analogice (tensiune, curent) cu tehnica digitala de calcul pentru a aprecia faza tensiunii perturbatoare.

Se pot folosi urmatoarele relatii de corectie daca $U_p > 10 U_0$:

a) Cazul folosirii pentru sursa de energie de joasa tensiune un transformator de separare (transformatoare de sudura) cu doi poli:

$$U_p^2 = \frac{U_{p1}^2}{2} + \frac{U_{p2}^2}{2} - U_0^2, \text{ unde } U_{p1} \text{ si } U_{p2} \text{ sunt tensiunile citite pe voltmetru când sunt}$$

conexiunile stabilite initial, respectiv când conexiunile se inverseaza la sursa de energie de joasa tensiune.

b) Cazul folosirii unui grup electrogen trifazat:

$$U_p^2 = \frac{U_{p1}^2 + U_{p2}^2 + U_{p3}^2}{3} - U_0^2, \text{ unde } U_{p1}, U_{p2} \text{ si } U_{p3} \text{ sunt tensiunile citite pe voltmetru la trei}$$

masurari folosind pe rând tensiunile faza-neutru la conexiunile cu cele trei faze ale generatorului.

În etapa I se foloseste un aparat, specializat pentru masurarea rezistentelor de dispersie cu ajutorul caruia se determina cu o aproximatie acceptabila rezistentele de dispersie a prizei de pamânt care se verifica R_p , a prizei de pamânt auxiliare R_{pA} si a prizei sonda R_{pS} . Cu valorile obtinute cu aparatul de masurare a rezistentelor de dispersie se poate aprecia curentul de masura în masurarile cu metoda volt - ampermetru.

Metoda de masurare (volt- ampermetru) necesita o sursa de joasa tensiune care poate fi:

- un transformator de separare de tensiune si putere corespunzatoare ;
- un grup electrogen de j.t. (120, 220 sau 380 V) (care alimenteaza în exclusivitate montajul electric de masurare) de o putere corespunzatoare;
- un transformator (sau mai multe transformatoare în serie) de sudura care au înfasurarile primare separate de cele secundare;
- un grup convertizor la care generatorul electric este separat galvanic de motorul de antrenare.

Sursa de energie electrica din montajul electric de masurare trebuie sa fie independenta si izolata galvanic de sursele de energie locale, care alimenteaza în exclusivitate montajul electric de masurare.

În cazul folosirii montajului voltmetru - ampermetru se pot determina valori acoperitoare si are avantajul important ca se poate considera ansamblul instalatiei verificate de legare la pamânt practic echipotentiata deoarece nu intervin impedantele homopolare.

Prin definitie un transformator de separare alimenteaza un singur circuit electric; în cazul de fata circuitul de masurare. Dupa cum s-a aratat mai sus se va evita folosirea unui transformator de servicii interne din statie deoarece este extrem de dificil sa poata avea rolul unui transformator de separare.

Alegerea sursei de energie electrica se face tinând seama de urmatoarele:

- tensiunea nominala a sursei U;
- valoarea estimata a impedantei echivalente a circuitului de masura Z_m

compus din: impedanta echivalenta a conductorului dintre sursa de energie folosita si priza auxiliara Z_C , rezistenta de dispersie a prizei de pamânt supusa masurarii R_p , si rezistenta de dispersie a prizei auxiliare R_A , impedanta proprie a sursei de alimentare: $Z_m = Z_C + R_p + R_A$, R_p si

R_A fiind determinate conform celor aratate mai sus cu ajutorul aparatului specializat pentru masurarea rezistentelor, de dispersie a prizelor de pamânt.

Trebuie analizate doua tipuri de scheme pentru injectia curentului prin instalatiile de legare la pamânt de la sursa de curent :

- schema bloc folosindu-se conductoarele LEA de MT simplu circuit si fara conductor de protectie pentru legarea la o priza de pamânt auxiliara îndepartata;
- schema bloc folosindu-se o priza de pamânt auxiliara amplasata în exteriorul statiei.

De regula iesirea liniei de MT din statie se face cu cablu armat; în acest caz exista posibilitatea sa nu se poata realiza izolarea galvanica a mantalei cablului si deci exista posibilitatea unei circulatii de curent si prin aceasta din urma existând riscul denaturarii grave a rezultatelor masurarilor.

Din acest motiv într-o astfel de situație pentru măsurarea rezistenței de dispersie a tensiunii de atingere U_a și a celei de pas U_{pas} se poate folosi schema cu o priză de pământ auxiliara amplasată în exteriorul stației.

Amplasarea prizei de pământ auxiliara P_A trebuie făcută la o distanță de peste 300 m distanța de gardul stației, într-o zonă cu teren viran (fără construcții în apropiere), iar amplasarea prizei sonda S (de potențial) trebuie făcută la peste 150 m distanța de gardul stației, respectând însă o distanță de cel puțin 150 m între prizele P_A și S . Deosebit de important este să nu se intre cu priză sonda S în zona de influență a prizei auxiliare P_A .

La măsurarea tensiunilor U_p (la determinarea rezistenței de dispersie R_p , respectiv a tensiunii U_c la verificările continuităților electrice) totdeauna legătura voltmetrului la elementul verificat se va face direct la punctul de injectare a curentului de măsură. Mai exact conductorul voltampermetrului se va lega la punctul de injectare a curentului și nu în alt punct al conductorului prin care trece curentul I_{pm} . În acest mod se evita includerea în valoarea citită pe voltmetru și caderea de tensiune pe porțiunea conductorului de curent până la punctul de injectare în elementul verificat.

Astfel discontinuitățile, respectiv legăturile defectuoase, se identifică la punctele în care valoarea tensiunii citite U_{pc} este mai mare decât cea considerată ca valoare U_p de calcul pentru determinarea rezistenței de dispersie R_p a prizei de pământ care se verifică. Curentul de injectare (intrare) în priză de pământ supusă măsurării este :

- în cazul sursei de energie electrică de joasă tensiune este curentul dat de această sursă acesta constituie curentul de măsură și se notează I_{pm} ;
- în cazul sursei de energie electrică de înaltă tensiune, este chiar curentul de scurtcircuit monofazat dat de această sursă în locul de punere la pământ (respectiv într-un punct al prizei de pământ supusă măsurării) și se notează I_K^1 ; în general se realizează schema de alimentare astfel încât curentul la locul de punere la pământ să fie mai mare de 1000 A, dar totdeauna mai mic decât valoarea de calcul $I_{sc\ max}^1$. Pentru determinarea valorilor de calcul la un defect maxim, toate marimile măsurate (curenți și tensiuni U_a , U_{pas} și U_R) trebuie înmulțite cu un coeficient de corecție numit **coeficient de multiplicare**.

Coeficientul de multiplicare se notează cu litera K și reprezintă următorul raport de multiplicare :

- în cazul sursei de energie electrică de joasă tensiune :

$$K = \frac{I_{sc\ max}^1}{I_{pm}}$$

- în cazul sursei de energie electrică de înaltă tensiune :

$$K = \frac{I_{sc\ max}^1}{I_K^1}, \text{ unde}$$

$I_{sc\ max}^1$ - este valoarea de calcul al curentului de scurtcircuit monofazat max. pentru stația respectivă ;

I_{pm} - curentul prin priză de pământ de măsură cu sursa de joasă tensiune;

I_K^1 - curentul de scurtcircuit monofazat de măsură cu sursa de înaltă tensiune.

I_p - este curentul de punere la pământ efectiv prin instalația de legare la pământ a stației la un scurtcircuit monofazat $I_{sc\ max}^1$:

$$I_p = I_{sc\ max}^1 - (I_N + I_{CP});$$

I_N - componenta din curentul de scurtcircuit monofazat $I_{sc\ max}^1$ care se închide prin neutrele transformatoarelor legate la pământ în stație;

I_{CP} - componenta din curentul de scurtcircuit monofazat $I_{sc\ max}^1$ care se închide prin

conductoarele de protecție ale liniilor electrice aeriene legate direct sau indirect la instalația de legare la pământ a stației.

Pentru curenții $I_{sc\max}^1$, I_P , I_N și I_{CP} valorile de calcul sunt cele determinate prin calcul și sunt specifice stației care face obiectul verificării.

Dacă nu se cunosc curenții I_P , I_N și I_{CP} (determinați) pentru stația în cauză se pot considera acoperitoare următoarele valori pentru curenții I_N și I_{CP} :

$$I_N = 0,1 I_{sc\max}^1 \text{ și } I_{CP} = 0,1 I_{sc\max}^1$$

Rezultă pentru I_P următoarea relație: $I_P = 0,8 I_{sc\max}^1$