

## 10. ELECTROSECURITATEA ÎN INSTALAȚIILE ELECTRICE

### 10.1 EFECTELE CURENTULUI ELECTRIC LA TRECEREA PRIN ORGANISMUL UMAN

Electrocutările sunt accidente datorate trecerii curentului electric prin organismul uman și se pot produce prin:

- *atingeri directe* (contact direct) a elementelor conductoare care se găsesc în mod normal sub tensiune (părțile active ale instalației);
- *atingeri indirecte* (contact indirect) care constau în contactul cu mase, carcase sau alte elemente conductive intrate accidental sub tensiune.

Cauzele producerii electrocutărilor pot fi diverse (defect de izolație, influențe electromagnetice, neatenție, etc.) iar tensiunea aplicată organismului uman se numește *tensiune de contact*  $U_c$ .

Electrocutările pot produce efecte fiziopatologice asupra organismului uman precum: șocuri electrice, fibrilație cardiacă, arsuri, etc. Gravitatea acestora depinde în mod direct de produsul *intensitate curent x timp*, adică de cantitatea de electricitate ce se scurge prin om. De asemenea, un rol important revine traseului curentului prin corp, cel mai periculos fiind traseul longitudinal (cap - picioare), urmat de traseul cu cea mai mare probabilitate în instalațiile electrice, mâna dreaptă – picioare.

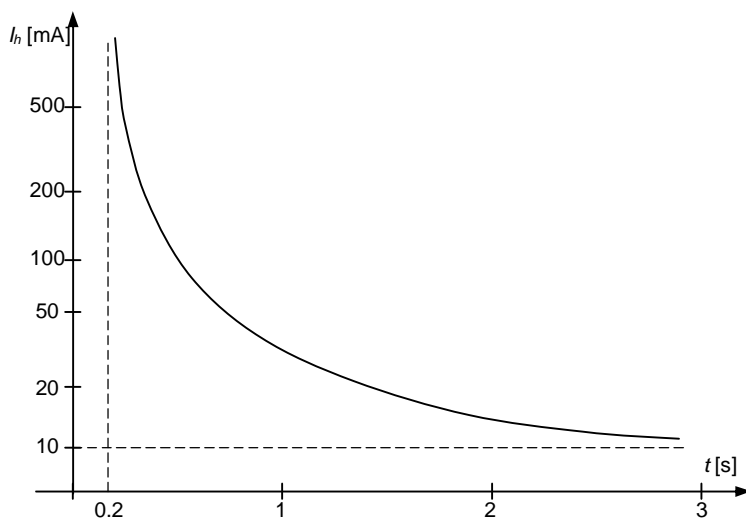


Fig. 10.1 Dependența de timp a curentului limită care nu produce fibrilația inimii

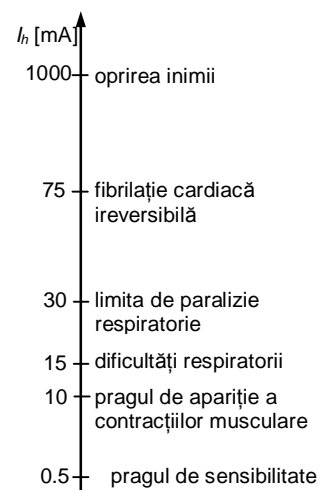


Fig. 10.2 Curenții de prag pentru apariția fenomenelor fiziopatologice

La durate mai reduse ale electrocutării, limitele curentului admisibil prin om sunt prezentate în **fig.10.1**. Experiența a arătat că la durate de sub 0,2 sec., electrocutările nu sunt în general mortale.

Pentru durate ale electrocutării mai mari de 3 sec., valorile maxim admisibile ale curenților prin corp sunt (valori la care omul se desprinde fără ajutor):

- 10mA – pentru curent alternativ;
- 50mA – pentru curent continuu.

Intensitatea curentului  $I_h$  prin corpul omenesc de impedanță electrică  $Z_h$  este:

$$I_h = \frac{U_c}{Z_h}$$

Impedanța organismului este formată, în principal, de impedanța pielii ce are valori de 40...100kΩ. Dar conductivitatea epidermei poate crește mult datorită transpirației, a umidității din atmosferă, a oboselii sau stării febrile a organismului etc. Atunci când pielea este străpunsă (la tensiuni mai mari de 60...100V) impedanța organismului devine și mai mică (cca. 200Ω). În practică, ca valori orientative, impedanța corpului omenesc se consideră:

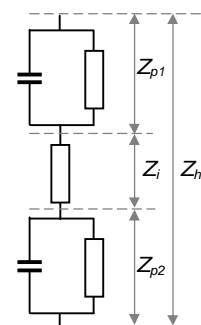


Fig. 10.3 Impedanța corpului uman  
 $Z_{p1,2}$  – impedanțe ale pielii,  
 $Z_i$  – impedanță internă

$Z_h = 1000\Omega$  în cazul atingerilor directe și  
 $Z_h = 3000\Omega$  în cazul atingerilor indirecte.

Tensiunea limită de securitate  $U_L$  (tensiunea la care nu există risc major pentru om) este considerată 50V pentru medii de activitate uscate sau cu umiditate redusă, respectiv 25V pentru activități în medii umede, pe amplasamente conductoare sau direct pe sol.

Efectele electrocutărilor se încadrează în două categorii: electroșocurile și electrotraumatismele.

*Electroșocurile* pot provoca leziuni ale țesuturilor, contracții spasmodice ori alte tulburări funcționale în organism (comoziile, fibrilația, stopul cardiac). Cel mai periculos efect îl reprezintă fenomenul de fibrilație ventriculară a inimii (tulburarea ritmului cardiac prin pierderea sincronismului pereților acesteia) care poate conduce la oprirea circulației sanguine și a respirației. Fenomenul apare cu precădere la curenți alternativi cu frecvența cuprinsă între 15 și 100 Hz. În curent continuu sau pentru curenți alternativi cu frecvența mai mare de 100 Hz pragul limită de apariție a fibrilației este mai ridicat. Prin acordarea unui ajutor adecvat (respirație artificială, masaj cardiac) victima poate fi adesea reanimată după un timp îndelungat de la apariția morții aparente.

Spre deosebire de curentul alternativ, în curent continuu un mai mare pericol îl reprezintă încheștarea mâinii pe conductorul aflat sub tensiune.

*Electrotraumatismele* reprezintă un alt risc important al electrocutărilor și constau în arsuri care pot fi interne (prin efect Joule prin țesuturile parcurse) sau externe (datorită arcului electric) când sunt însoțite uneori de metalizarea pielii. Frecvența curentului electric influențează intensitatea curentului de prag. Cu cât frecvența crește cu atât riscul fibrilației ventriculare se diminuează, dar în schimb crește riscul arsurilor. La frecvențe mai mari de 400Hz nu se mai produc electroșocuri, iar mărimea arsurilor depinde de valoarea curentului.

## 10.2 CAZURI DE ELECTROCUTARE

Rețelele electrice indiferent de modul lor de realizare (aeriene, în cabluri, în conductoare trase prin tuburi, etc.) prezintă față de pământ o impedanță oarecare  $Z$ . După natura și mărimea acesteia se deosebesc:

- rețele electrice legate la pământ – care au punctul neutru numit “nul” legat la pământ;
- rețele electrice izolate față de pământ – au toate punctele curenților de lucru izolate față de pământ.

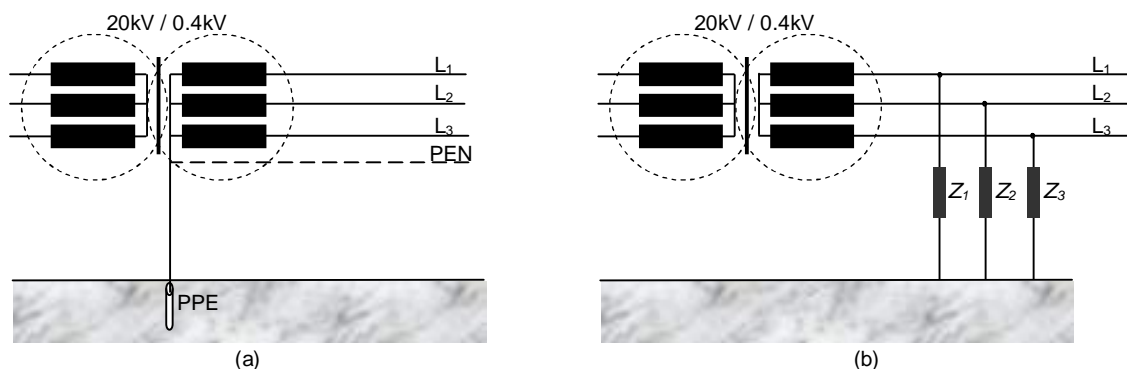


Fig. 10.4 Rețea electrică: legată la pământ (a) și izolată față de pământ (b)  
PPE – priză de pământ de exploatare

La joasă tensiune se utilizează aproape în exclusivitate rețelele legate la pământ care, deși prezintă un pericol de electrocutare mai ridicat, oferă avantajul unei tensiuni constante între fazele rețelei și neutrul (legat la pământ) indiferent de natura sarcinii, echilibrată sau dezechilibrată. Rețelele izolate față de pământ sunt utilizate mai rar, pentru alimentarea unui receptor de putere mare sau a unui grup de receptoare cu sarcinile identice pe faze, **sau pentru alimentarea unor rețele cu mare pericol de electrocutare (exploatare miniere, petroliere, hidrologice etc.).**

### Electrocutarea prin atingere directă

Electrocutarea prin atingere directă poate avea loc fie prin atingerea simultană a unei linii electrice și a pământului (*atingere unipolară*), fie prin atingerea simultană a două linii electrice (*atingere bipolară*).

Indiferent de situație și tipul rețelei, prin corpul omului se va stabili un curent electric a cărui valoare depinde de impedanța circuitului care se formează.

În cazul atingerii bipolare, indiferent de tipul rețelei, curentul prin om este același (v.fig.10.5).

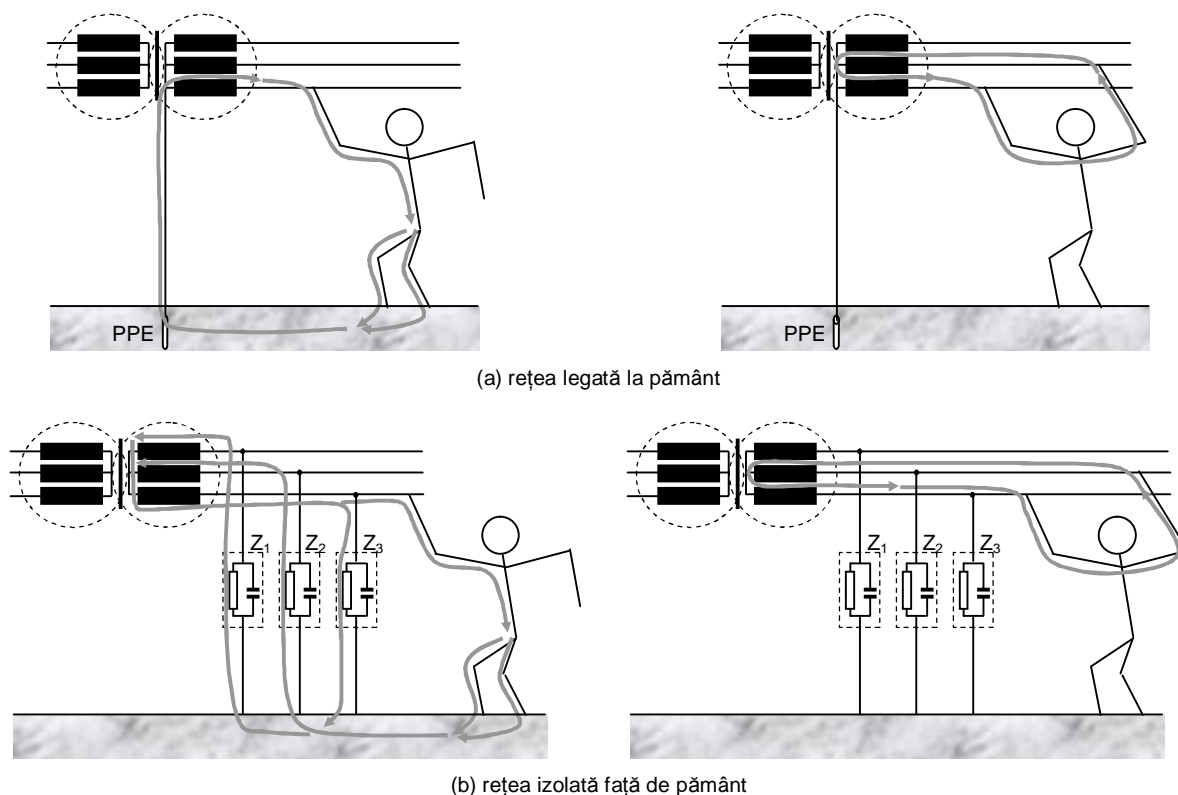


Fig. 10.5 Cazuri de electrocutare prin atingere directă

În cazul atingerii unipolare, dacă rețeaua trifazată are nulul la pământ, atingând un element oarecare aflat în circuitul curenților de lucru (un conductor neizolat, o bornă, etc.) omul este supus nemijlocit tensiunii rețelei față de pământ (fig.10.5.a). Dacă rețeaua trifazată este izolată față de pământ, impedanța  $Z_i$  provine din capacitatea naturală a fiecărui conductor față de pământ și din rezistența de izolație a acestuia față de pământ, legate în paralel (fig.10.5.b). La atingerea directă a unei faze, prin corpul omului trece un curent mai mic decât în cazul rețelei cu neutrul legat la pământ. De aceea, rețelele izolate față de pământ sunt în principal mai puțin periculoase decât cele legate la pământ, din punct de vedere al electrocutărilor. Dar fiindcă există oricând pericolul unei puneri la pământ simple (monofazate), în practică se vor prevedea instalații de protecție împotriva electrocutării pentru ambele tipuri de rețele.

#### Electrocutarea prin atingere indirectă

Electrocutarea prin atingere indirectă constă în contactul cu mase, carcase sau alte elemente conductive intrate accidental sub tensiune. Cauzele pot fi diverse:

- *desprinderea* uneia sau mai multor faze din circuitele electrice, datorită unor solicitări mecanice sau accidentale
- *defecte de izolație* a conductoarelor de fază, datorită îmbătrânirii izolației (naturală, prin suprasolicitare), distrugerii izolației (loviri, tasări ale construcției, rozătoare etc.) sau a unor defecte de execuție nedetectate la timp.

### 10.3 SCHEME DE LEGARE LA PĂMÂNT

Contactul electric cu solul al unui element conductiv din instalația electrică se poate stabili fie intenționat (se numește legare la pământ), în scop funcțional sau ca măsură de protecție, fie în mod accidental, ca urmare a unui defect de instalație (punere la pământ).

Instalația de legare la pământ este constituită din electrozi special destinați acestui scop, îngropați în

sol (prize de pământ) și conductoare care fac legătura dintre electrozi și elementele conductive din instalație (conductoare de legare la pământ) și prin care se realizează intenționat contactul cu solul.

Legarea la pământ poate fi funcțională (de exploatare) când urmărește asigurarea unui anumit mod de funcționare a rețelei și se aplică elementelor conductive ce aparțin circuitelor curenților de lucru și, respectiv de protecție când are ca scop protecția personalului împotriva electrocutării prin atingeri indirecte și se aplică elementelor conductive (masele) care nu se află în mod normal sub tensiune, dar care, în urma unui defect, ar putea intra accidental sub tensiune.

Schemele de legare la pământ într-o rețea de J.T. sunt de trei tipuri principale, notate: TT, TN și IT. Literele din aceste notații au următoarele simboluri:

prima literă (se referă la rețea)

T - legătură directă la pământ (în franceză, terre = pământ);

I - izolarea părților active față de pământ (cel mult legarea unui punct la pământ printr-o impedanță).

a doua literă (se referă la elementele conductive auxiliare)

T - legătura directă la pământ ;

N - legătura electrică directă a masele la punctul neutru al rețelei de alimentare, legat la pământ.

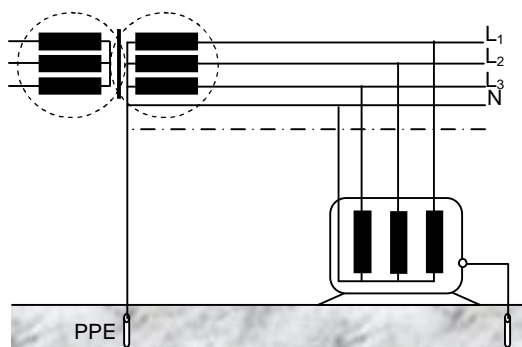
a treia literă (referitor la dispunerea conductorului neutru și a condițiilor de protecție)

S - funcția de protecție este asigurată printr-un conductor separat de cel neutru sau de un eventual conductor activ legat de pământ (în c.a.);

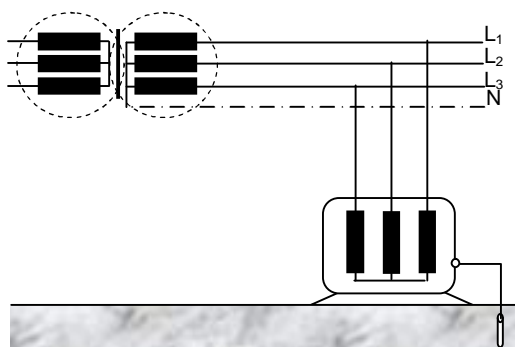
C - funcțiile de neutru și de protecție pot fi combinate într-un singur conductor (PEN).

Schema TT (neutru la pământ) au punctul neutru al sursei de alimentare (transformatorului) legat la pământ, masele instalației electrice (carcasele receptoarelor etc.) fiind legate la prize de pământ independente din punct de vedere electric de priza de pământ a alimentării. Acest tip de schemă este cea mai simplă schemă de distribuție și de aceea se recomandă pentru instalații **fără dispozitive de supraveghere** sau care urmează a fi extinse sau modificate.

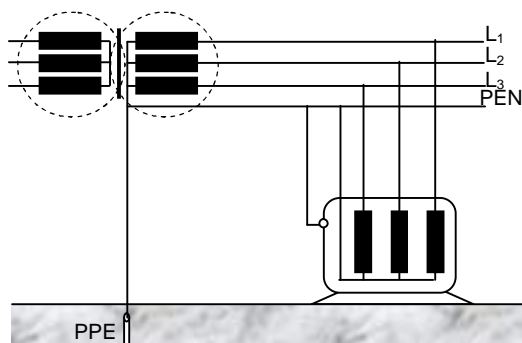
Schema IT În aceste scheme punctul neutru al transformatorului este izolat față de pământ sau pus la pământ printr-o impedanță și un limitator de tensiune. Masele echipamentului și părțile intermediare ale clădirii sunt legate, independent, la priza de pământ a clădirii. În cazul unui singur defect de izolație, curentul de defect este redus și, deci, riscul electrocutării prin atingere indirectă este redus.



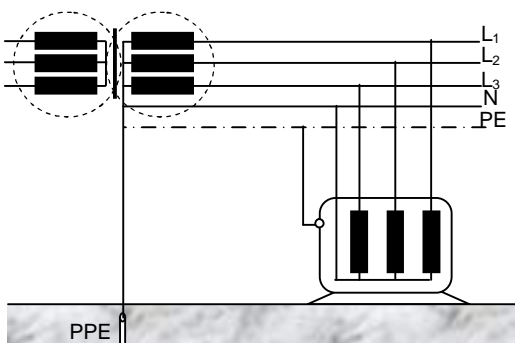
(a) Schema TT



(b) Schema IT



(c) Schema TN-C



(d) Schema TN-S

Fig.10.6 Scheme de legare la pământ

Schemele IT se recomandă pentru cazurile în care continuitatea alimentării cu energie electrică este absolut necesară.

Scheme TN Schemele TN au neutrul sursei legat la pământ, masele (carcasele) instalației fiind legate la acest nul prin conductoare de protecție (PE). În acest caz, curentul de defect fază-masă este un curent de scurtcircuit monofazat.

Sunt trei variante de scheme TN: TN-C (funcțiile conductorului de protecție PE și ale conductorului de nul N sunt combinate într-un singur conductor PEN), TN-S (conductorul de protecție PE este separat fizic de conductorul de nul N) și TN-C-S (funcțiile sunt combinate într-un singur conductor PEN doar pe o porțiune a schemei, întotdeauna în aval cu zona cu conductor de protecție PE distinct).

Schemele TN-C și TN-C-S nu sunt recomandate datorită riscului de incendiu și a perturbațiilor electromagnetice, care pot apare datorită: căderilor de tensiune pe conductoarele PEN, valorilor mari ale curentului în cazul defectului de izolație etc.

Schema TN-S este recomandată pentru instalații care **nivel ridicat de supraveghere** sau care nu urmează a fi extinse sau modificate. Prin montarea în această schemă a unor dispozitive de curent rezidual de sensibilitate medie, se obține o protecție suplimentară la foc și o flexibilitate mai mare a schemei.

## 10.4 PRIZE DE PĂMÂNT

### 10.4.1 Generalități

Prizele de pământ constituie componenta principală a instalației de legare la pământ, destinate unor funcții multiple în exploatarea instalațiilor electrice:

- protecția personalului contra electrocutărilor;
- asigurarea potențialului zero punctelor neutre ale unor rețele trifazate;
- realizarea unor circuite de întoarcere prin pământ a curenților normali de lucru (tracțiune electrică)
- protecția clădirilor și rețelelor electrice împotriva descărcărilor electrice atmosferice

Prizele de pământ sunt: de protecție sau de exploatare, naturale sau artificiale, orizontale sau verticale, singulare, multiple sau complexe.

Prizele naturale reprezintă părți din construcții sau instalații subterane bune conducătoare de electricitate (cu excepția conductelor ce transportă materiale explozive) aflate în contact permanent cu solul. Au o durată foarte lungă de funcționare, prezintă rezistențe de dispersie reduse, nu necesită verificări periodice ale rezistențelor nefiind supuse corodării în timp, iar continuitatea electrică se poate realiza cu relativ suficientă ușurință.

Se pot folosi drept prize naturale: fundații și stâlpi din beton armat, conducte pentru fluide necombustibile, învelișurile și armăturile cablurilor subterane (cu excepția celor din aluminiu) cu condiția asigurării continuității electrice. În orice caz, este necesar să se verifice prin măsurători directe rezistența de scurgere la pământ a prizei naturale.

Obs. În ciuda aparențelor, betonul prezintă o conductibilitate apropiată de a pământului înconjurător datorită umidității care se transmite acestuia, în spațiul intergranular, prin capilaritate. Astfel, armătura din oțel se comportă ca o priză de pământ artificială introdusă la aceeași adâncime.

Prizele artificiale sunt construite special pentru trecerea în pământ a curenților de defect sau de exploatare, fiind interzisă folosirea lor și în alte scopuri. Se compun din electrozi din oțel masiv (bară, țevă, bandă) aflați în contact cu pământul și din conductoarele de legătură între electrozi (întrucât sunt neizolate și îngropate în sol, au și ele rolul unor electrozi).

Rezistența electrică a unei prize de pământ este dată de suma următoarelor rezistențe înseriate:

- rezistența electrozilor în contact cu solul, care este neglijabilă în raport cu cea a solului, de unde rezultă că se pot folosi orice materiale conductoare electric pentru electrozi;

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

Tabelul 10.1 – Rezistivitatea solului  $\rho$  pentru diferite tipuri de sol și beton [2,3]

- rezistența contactului “electrod-sol” – valori reduse, practic neglijabile ale acestui parametru se obțin atunci când pământul este bine tasat în jurul electrodului. Un contact imperfect “electrod-sol” duce atât la apariția unor rezistențe suplimentare cât și la corodarea mai rapidă a electrozilor (accesul  $\text{O}_2$  atmosferic spre electrod e mai ușor);
- rezistența solului la trecerea curentului electric a cărei valoare depinde de umiditate, conținutul în săruri și temperatura solului la adâncimea de îngropare a prizei (fig.10.7).

#### 10.4.2 Tipuri constructive de prize de pământ

Prizele verticale (de adâncime). Straturile de sol de la adâncime au conductivitate electrică mai mare decât straturile de la suprafață căci sunt mai bine umezite de apele freatice și mult mai ferite de variațiile agenților atmosferici (în special de căldură și îngheț). De aceea electrozii prizelor se introduc vertical în sol pentru a fi în contact pe o lungime cât mai mare cu straturile de rezistivitate cât mai mică. Se folosesc de preferință electrozi de țeavă galvanizată cu  $\Phi 2''\div 2\frac{1}{2}''$  și lungimea de  $l=1,5\div 3\text{m}$ , dispuși pe contururi închise, în formă dreptunghiulară la intervale cu lungimea  $a=(1\div 3)\cdot l$ .

Legăturile dintre electrozi sunt din bandă de OL (25x4mm) sau oțel rotund ( $\Phi 11\text{--}14\text{mm}$ ) care se constituie la rândul lor în electrozi orizontali. În mod obișnuit adâncimea de montare a capătului superior al electrozilor este de  $q=0,6\div 0,8\text{m}$ , pentru ca rezistența de dispersie să nu fie influențată de variațiile agenților atmosferici.

Prize orizontale (de suprafață). Dacă straturile de sol de la suprafață prezintă o rezistivitate mai mică decât cele de adâncime (de exemplu solurile stâncoase sau cu bolovăniș acoperite cu straturi de pământ vegetal) se realizează prize cu electrozi orizontali, care se dispun în sol sub formă de raze (maximum 4) sau inele. Prizele orizontale se execută din benzi de oțel (lat, rotund sau alte profile) adâncimea de îngropare fiind ceva mai mare de 0,5m (în general 0,6...1m) pentru ca influența agenților atmosferici asupra rezistivității solului să fie mai redusă. Lungimea  $l$  în linie dreaptă a electrozilor orizontali nu trebuie să depășească 100m, căci influența impedenței longitudinale anulează efectul lungimii asupra rezistenței, iar prizele inelare vor avea diametrul minim de 10m.

În cele mai multe cazuri o priză de pământ este constituită din mai multe prize singulare (care au un singur electrod) formând o priză de pământ multiplă sau, dacă conține atât prize verticale cât și orizontale, o priză de pământ combinată.

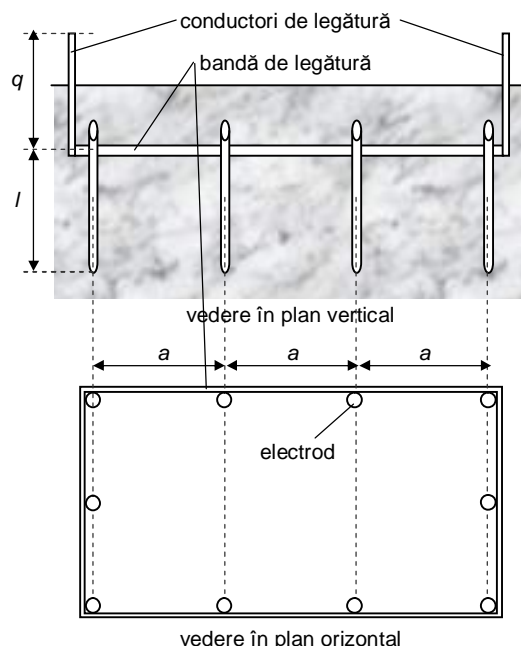


Fig.10.8 Prize de pământ verticale

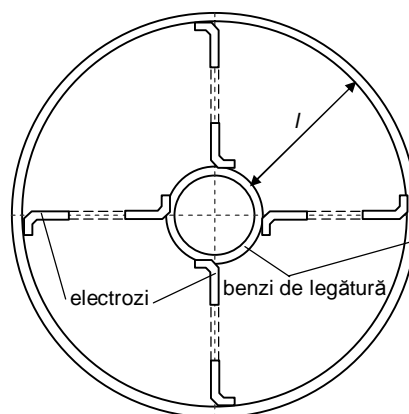


Fig.10.9 Prize de pământ orizontale

Materialele folosite pentru prizele artificiale, secțiunile și grosimile minime ale acestora precum și condițiile de utilizare și montare vor fi conform normativelor.

### 10.3.3 Mărimi caracteristice

Prizele de pământ se caracterizează prin rezistența de dispersie definită ca raport între tensiunea prizei de pământ  $U_p$  (diferența de potențial între electrodul prizei și un punct foarte îndepărtat al solului) și curentul de punere la pământ prin priză  $I_p$  (curent ce se scurge spre pământ prin priză):

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

La scurgerea unui curent în pământ printr-o priză, la suprafața solului apare o distribuție în potențial (pâlnia de potențial), care definește practic zona de influență a prizei de pământ (regiunea din jurul prizei unde potențialul diferă sensibil față de punctele îndepărtate). Practic zona de influență se întinde pe o suprafață cu o rază de 15-20m (fig.10.10).

Rezistența de dispersie a prizelor singulare se determină cu relațiile [STAS 6619-78]:

- pentru prize verticale:  $r_{pv} = 0,366 \cdot \frac{r}{l} \left[ \lg \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t+l}{4t-l} \right]$  unde  $t = g+l/2$  = adâncimea de la suprafața solului până la mijlocul electrodului de lungime  $l$  și diametru  $d$ .
- pentru prize orizontale:  $r_{po} = 0,366 \cdot \frac{r}{l} - \lg \frac{2l}{b \cdot q}$  unde  $b$  este lățimea benzii de lungime  $l$ .

Rezistența de dispersie teoretică a unei prize multiple, constituită din  $n$  electrozi conectați în paralel și situați la peste 40m unul față de altul, este dată de:

$$R_p^t = \frac{r_p}{n}$$

Practic însă, distanțele dintre electrozi sunt în mod obișnuit cu mult sub 40m, prizele singulare se influențează reciproc nefavorabil, iar rezistența reală devine mai mare ca cea teoretică:

$$R_p = \frac{r_p}{u \cdot n}$$

unde  $u = \frac{R_p^t}{R_p} \in (0;1]$  se numește coeficient de utilizare al prizei de pământ.

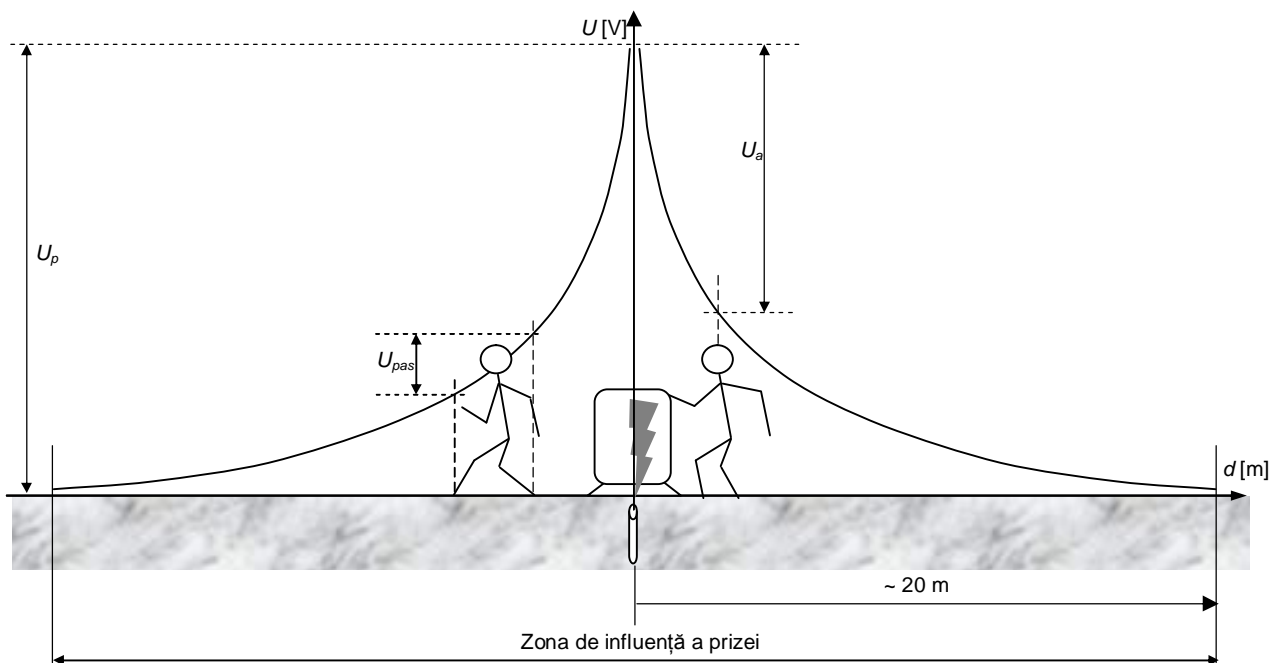


Fig.10.10 Zona de influență a unei prize de pământ singulare



## 10.5 METODE DE PROTECȚIE

Metodele de protecție împotriva accidentelor prin electrocutare se pot grupa în trei categorii:

Măsuri tehnice de prevenire a accidentelor prin electrocutare, care urmăresc trei direcții principale:

reducerea tensiunii de atingere;  
micșorarea intensității curentului electric ce trece prin om;  
scurtarea duratei acestuia până la valori admisibile.

Măsuri profilactice (tehnice preventive) care constau în: izolarea și îngrădirea căilor de curent, supravegherea izolației, realizarea din materiale electroizolante a carcaselor, manetelor și altor componente care pot fi atinse, prevederea de blocaje electrice sau mecanice etc.

Măsuri organizatorice precum: instructaje privind regulile de securitate, folosirea tăblițelor, afișelor și semnalizărilor de avertizare, organizarea atentă a locului de muncă etc.

Pentru prevenirea atingerilor directe a părților aflate sub tensiune se iau în general măsuri profilactice precum: izolarea părților aflate sub tensiune, folosirea de bariere sau carcase cu gradul de protecție superior lui IP2X, permiterea accesului la părțile aflate sub tensiune numai personalului calificat etc.

Dintre măsurile tehnice se utilizează alimentarea la tensiuni foarte joase a unor receptoare portabile de putere mică, aflate în încăperi cu grad ridicat de pericol de electrocutare. Se mai poate aplica o măsură adițională de protecție prin montarea unor dispozitive foarte sensibile și cu declanșare rapidă care detectează curentul rezidual către pământ, indiferent dacă acesta străbate sau nu corpul unui om.

În cazul atingerilor indirecte, metodele de protecție pot fi *principale* (de bază) dacă pot realiza singure protecția necesară și *suplimentare*, dacă au rolul de ale completa pe cele principale pentru realizarea unei protecții sigure. Așadar, primele au ca scop protecția omului împotriva electrocutării, iar următoarele au rolul de a crește gradul de siguranță. Atunci când gradul de pericol este foarte mare, se poate folosi ca metodă suplimentară tot una din metodele considerate „de bază” (altă decât cea utilizată ca metodă principală).

Ca metodă principală se poate folosi una dintre următoarele:

- legarea la pământ;
- legarea la nulul de protecție;
- utilizarea tensiunilor reduse;
- separarea de protecție.

Dintre metodele suplimentare cele mai utilizate sunt:

- izolarea suplimentară de protecție;
- egalizarea și dirijarea potențialelor;
- deconectarea automată de protecție (fie la apariția unei tensiuni de atingere periculoase, fie la apariția unui curent de defect periculos).

Indiferent de măsura sau măsurile adoptate, se recomandă folosirea echipamentului individual de protecție: mănuși, cizme și șorț electroizolante, respectiv ochelari de protecție împotriva arcului electric.

## 10.6 PROTECȚIA PRIN LEGARE LA PĂMÂNT

Constă în racordarea intenționată la o instalație de legare la pământ a părților metalice care ar putea intra accidental sub tensiune, spre deosebire de legarea la pământ de exploatare care are scop funcțional și se referă la elementele conductoare care fac parte din circuitele de lucru ale rețelelor electrice. Este o metodă propice rețelelor izolate față de pământ, IT și urmărește în principal reducerea tensiunilor de contact la atingerile indirecte.

### 10.6.1 Instalația de legare la pământ

O instalație de legare la pământ se compune din priza de pământ (cu unul sau mai mulți electrozi) conductorul principal de legătură la priza de pământ și conductorul de ramificație spre utilajele legate la pământ. Pentru execuția ei se vor folosi în primul rând elemente naturale conductoare ale construcției existente (mai puțin conductele sau țevele care transportă lichide cu pericol de explozie), dacă acestea îndeplinesc anumite condiții de continuitate electrică, rezistență electrică neglijabilă, rezistență mecanică și



secțiuni suficient de mari.

La clădirile cu pereți metalici sau cu schelet din oțel sau beton armat, elementele conductoare ale construcției se pot folosi în calitate de conductoare de legare la priza de pământ.

**Atenție:** În instalații de curent continuu se interzice utilizarea elementelor naturale în calitate de conductoare de legătură la pământ sau prize de pământ de lucru.

Dintre criteriile folosite la execuția instalațiilor de legare la pământ se menționează:

- conductorul de legătură să aibă rezistență minimă (rezistența echivalentă carcasa utilaj – priză de pământ este  $\leq 0,5 \Omega$ );
- se interzice montarea de aparate electrice (siguranțe, separatoare, etc.) pe conductorul de legătură la pământ;
- se interzice folosirea aluminiului drept conductor de legătură la pământ;
- conductorul principal de legătură la pământ va trece prin toate încăperile ce trebuie protejate și va forma, pe cât se poate, un circuit închis;
- toate conexiunile se protejează împotriva coroziunii prin vopsire;
- legătura la pământ a utilajelor supuse vibrațiilor sau deplasărilor frecvente se face prin conductoare flexibile.

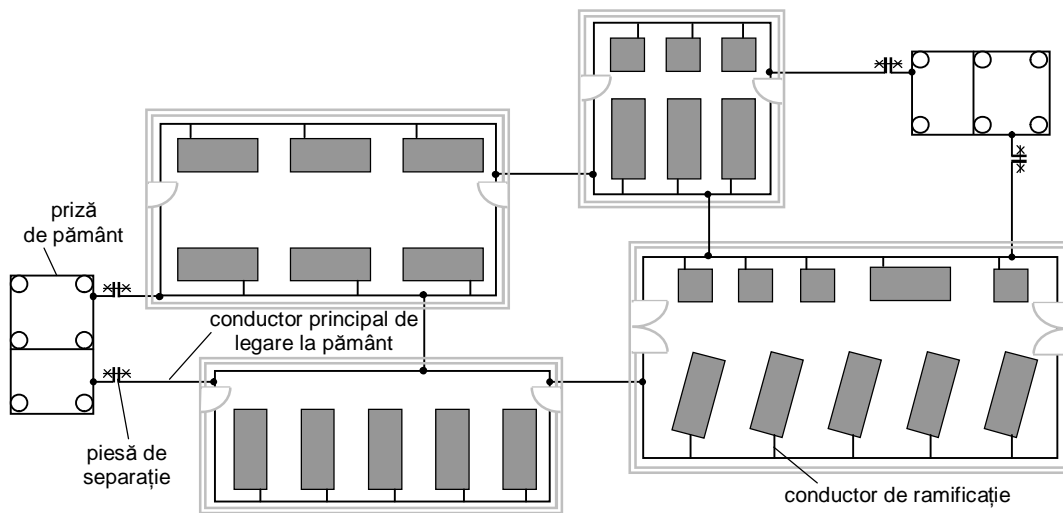


Fig. 10.15 Instalație de legare la pământ cu mai multe prize

### 10.6.2 Funcționarea protecției în rețele IT

În rețelele IT caracterizate de rezistența de izolație  $R_{iz}$  (se neglijează capacitatea), se poate arăta că tensiunea de contact în cazul unei singure puneri la carcasa unui echipament este dată de:

$$U_c = R_p I_p = \sqrt{3} \cdot U \frac{R_p}{2R_p + R_{iz}}$$

unde  $U$  este tensiune între faze (380 sau 400V). Pentru ca tensiunea de contact să se găsească sub valoarea admisibilă  $U_{c adm}$  rezistența instalației de legare la pământ trebuie să îndeplinească condiția:

$$R_p \leq \frac{U_{c adm}}{\sqrt{3}U - 2U_{c adm}} R_{iz}$$

Cu cât valoarea rezistenței prizei de pământ este mai mică, cu atât tensiunea de contact și, în consecință, curentul prin om vor fi mai mici. Dar aici, un rol foarte important îl joacă rezistența de izolație  $R_{iz}$ . Se poate demonstra că, pentru rețele IT, expresia curentului prin om este:

$$I_h = \frac{\sqrt{3}U}{3R_h + R_{iz} + \frac{R_h R_{iz}}{R_p}}$$

Dacă presupunem  $R_p = \infty$  (absența prizei de pământ), atunci  $I_h = \frac{\sqrt{3}U}{3R_h + R_{iz}}$

și impunând un curent maxim  $I_h = 10\text{mA}$ ,  $U = 380\text{V}$  și  $R_h = 1000\Omega$ , va rezulta că rezistența de izolație trebuie să fie minim  $63\text{k}\Omega$ . Rezistențe de izolație așa de mari se găsesc rar în exploatare, valorile curente fiind cuprinse între  $10..20\text{k}\Omega$ . Normativele republicane impun pentru rezistența de dispersie a prizelor de pământ o valoare maximă de  $4\Omega$ , pentru care prin om ar putea trece un curent periculos mai mare de  $10\text{mA}$  numai dacă rezistența de izolație ar fi mai mică decât  $250\Omega$  (exclus, de obicei, în condiții normale de funcționare).

În cazul unei rezistențe normale de izolație a rețelei, protecția poate fi asigurată printr-o priză cu valoarea rezistenței de dispersie de ordinul zecilor de ohmi (priză simplă, realizată cu un singur electrod) pentru care valoarea de contact nu depășește câțiva volți.

Pentru o mai mare siguranță în exploatarea instalațiilor electrice, acestea sunt prevăzute cu echipamente de măsură a rezistenței de izolație cu care, la fiecare început de ciclu de lucru (zi, schimb etc.) se verifică buna funcționare a instalației de protecție prin măsurarea rezistenței de izolație.

#### Obs.

1. Deconectarea circuitului defect nu este neapărat necesară.
2. Legarea la pământ nu se poate realiza individual, pentru fiecare echipament. În acest caz, dacă apare o dublă punere la carcasă, la faze diferite ale rețelei, tensiunea de contact crește până la jumătatea tensiunii de linie, mult peste valorile admise. Se recomandă realizarea legăturilor echipotențiale (legarea tuturor carcaselor între ele) care mai au avantajul de a produce de conectarea sectorului defect sub acțiunea curentului de scurtcircuit monopolar.

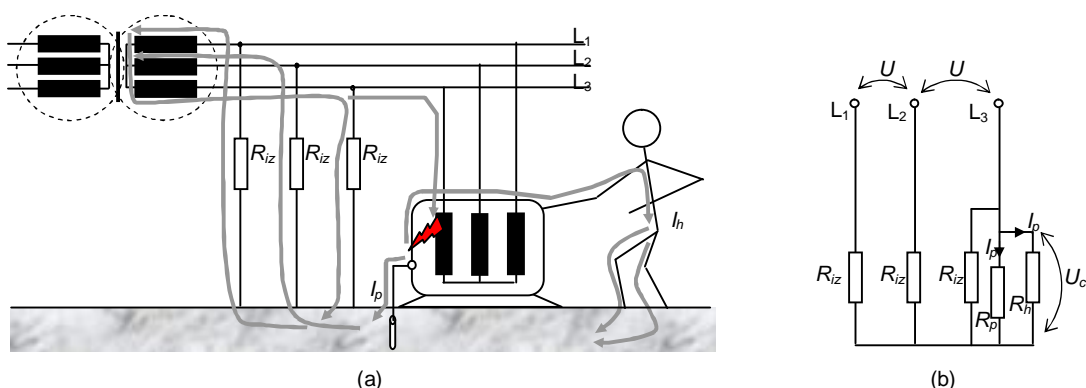


Fig. 10.16 Circulația curenților de prim (singur) defect în cazul rețelelor IT

### 10.6.3 Funcționarea protecției în rețele TT

În acest caz, neutrul este legat la pământ printr-o priză de exploatare PPE, iar toate carcusele metalice (masele) care pot intra accidental sub tensiune sunt legate la pământ printr-una sau mai multe prize de protecție în paralel (fig.10.17).

La apariția unui defect (fie acesta o punere netă la masă, rezistența electrică a locului defect fiind  $\sim 0\Omega$ ) și neglijând rezistența electrică a fazei defecte, se stabilește un curent de defect  $I_d$  ce se poate determina conform schemei echivalente (fig.10.17.b) cu:

$$I_d \approx \frac{U_f}{R_{PPE} + (R_p \parallel R_h)}$$

Întrucât  $R_p \ll R_h$ , se pot scrie curentul și tensiunea prizei de pământ ca fiind:

$$I_p \approx \frac{U_f}{R_{PPE} + R_p} \quad U_p = R_p I_p \approx U_f \frac{R_p}{R_{PPE} + R_p}$$

Dacă mai multe echipamente sunt legate la aceeași priză de pământ și la unul din acestea apare un

defect, având în vedere distribuția potențialului în jurul prizei, tensiunea de contact la care poate fi supus omul depinde de poziția acestuia pe sol în raport cu priza de pământ. Trebuie remarcat că toate carcasa se găsesc la același potențial și, la apariția unui defect de izolație într-un echipament, acesta va căpăta potențialul crescut al prizei, la fel cu toate celelalte echipamente fără defect.

În cazul cel mai defavorabil, atunci când omul se găsește în zona de potențial nului (caz foarte frecvent, mai ales în cazul prizelor de pământ amplasate în afara clădirii la distanțe relativ mari), tensiunea de contact este:

$$U_c = U_p = U_f \frac{R_p}{R_{PPE} + R_p}$$

Datorită scurgerii curentului electric prin pământ, priza de pământ de exploatare PPE și toate elementele conductive în contact cu aceasta (inclusiv conductorul neutru) vor avea un potențial ridicat, putând constitui un pericol în caz de atingere accidentală. Într-adevăr, tensiunea de contact pentru priza de pământ de exploatare se obține similar:

$$U_{cPPE} = U_f \frac{R_0}{R_{PPE} + R_p} = U_f \frac{1}{1 + \frac{R_p}{R_{PPE}}}$$

și se observă că nu depinde atât de valorile rezistențelor prizelor cât de raportul acestora. Mai trebuie remarcat că:

$$U_{cPPE} = U_f - U_p$$

Dacă tensiunea de contact a prizei de protecție este adusă sub valoarea admisibilă de 50V, atunci tensiunea de contact a prizei de exploatare va fi de  $220 - 50 = 170V$ . În concluzie, legarea la pământ nu poate asigura tensiuni de contact admisibile în orice punct al rețelei.

Pentru a putea fi folosită ca protecție principală în rețele cu neutrul legat la pământ, protecția prin legare la pământ trebuie să determine deconectarea rapidă și sigură a echipamentului defect. O protecție sigură prin legare la pământ acționează astfel: la apariția unui defect, potențialul la nivelul părților metalice protejate va rămâne sub limita periculoasă, iar curentul de defect care se stabilește determină acțiunea în timp scurt a protecției maxime de curent (siguranță fuzibilă sau releu electromagnetic) a circuitului defect.

Pentru ca protecția maximală de curent a receptorului defect să acționeze în timp mai scurt de 3 secunde, pentru valorile curentului de defect se consideră:

$$I_d \geq k \cdot I_{pr}$$

unde  $I_{pr}$  este curentul reglat al protecției maxime ( $I_f$  - al siguranței fuzibile;  $I_{re}$  - al releului electromagnetic), iar coeficientul  $k$  are valorile:

- $k = 1,25$  pentru rele (declanșatoare) electromagnetice;
- 3,5 pentru  $I_f \leq 50A$ ;
- 5 pentru  $I_f \geq 63A$ .

Astfel, rezistența necesară a prizei de pământ se poate calcula cu:

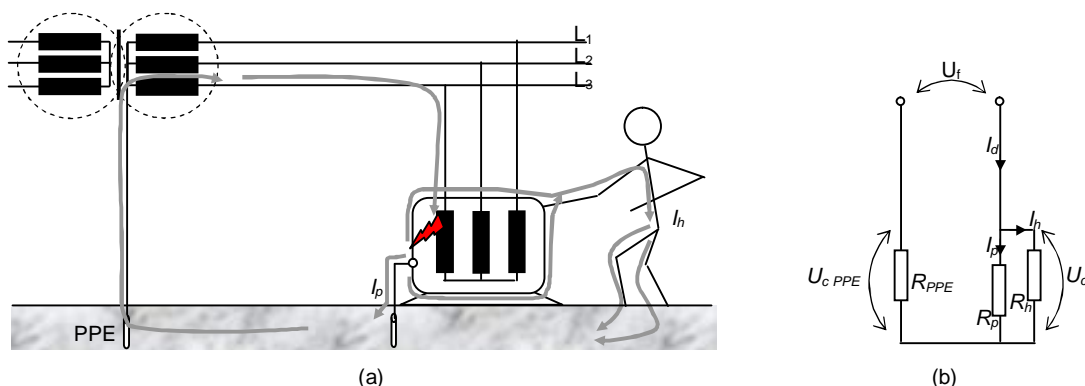


Fig.10.17 Circulația curenților de defect în rețele TT

$$R_p \leq R_{PPE} \frac{U_{adm}}{U_f - U_{adm}}$$

Indiferent de valorile obținute prin calcule, rezistența prizei de pământ nu trebuie să depășească anumite limite stabilite prin normative:

- $4\Omega$  în cazul instalației obișnuite de suprafață;
- $2\Omega$  în cazul instalației agrozootehnice;
- $1\Omega$  în cazul instalației din subteran

valori care nu se pot realiza întotdeauna în mod economic.

#### Concluzii

1. Indiferent de tipul rețelei, cu neutrul izolat (IT) sau cu neutrul legat la pământ (TT sau TN), legarea la pământ de protecție asigură reducerea tensiunilor de contact și a celor de pas.
2. La rețelele cu neutrul izolat (IT) legarea la pământ se folosește ca protecție principală, cu condiția asigurării unui control permanent al izolației rețelei față de pământ.
3. La rețelele cu neutrul legat la pământ, legarea la pământ se folosește de preferință ca protecție suplimentară, protecția principală fiind de obicei legarea la nul.

### 10.7 PROTECȚIA PRIN LEGARE LA NUL

Se recomandă în cazul rețelelor legate la pământ (TN sau TT) și se realizează prin legarea părților metalice ale instalației care pot fi puse accidental sub tensiune, la neutrul transformatorului de alimentare prin conductoare speciale de protecție (PE).

În cazul apariției tensiunii de atingere la un utilaj (de exemplu un defect de izolație al unei faze v. Fig.10.18), curentul de scurtcircuit monofazat care se închide prin nulul rețelei și faza defectă va determina topirea siguranței fuzibile sau deconectarea întrerupătorului automat aferent utilajului respectiv.

Protecția prin legare la nul prezintă față de legarea la pământ avantajul de a produce, în caz de defecțiune al izolației, un curent de scurgere la nul de o intensitate mai mare, ceea ce are ca rezultat deconectarea de la rețea a porțiunii de instalație defectă în condiții mai sigure (prin intrarea în funcțiune a protecției instalației). Carcasele metalice sunt scoase de sub tensiune și omul nu mai este în pericol. Chiar dacă omul ar fi în contact cu carcasa în chiar momentul punerii sub tensiune a acesteia, pericolul este redus deoarece aparatele de protecție acționează într-un timp foarte scurt (de ordinul milisecundelor).

Exemplu:

Fie o rețea de J. T.  $3 \times 380/220V$  unde este realizată atât priza de pământ de protecție ( $R_p=4\Omega$ ) cât și priza de exploatare ( $R_{PPE}=4\Omega$ ). Considerând rezistența conductorului  $R_1 \approx 0$  și cea de defect  $R_2=0$  (străpungere netă a izolației) curentul de punere la pământ va fi:

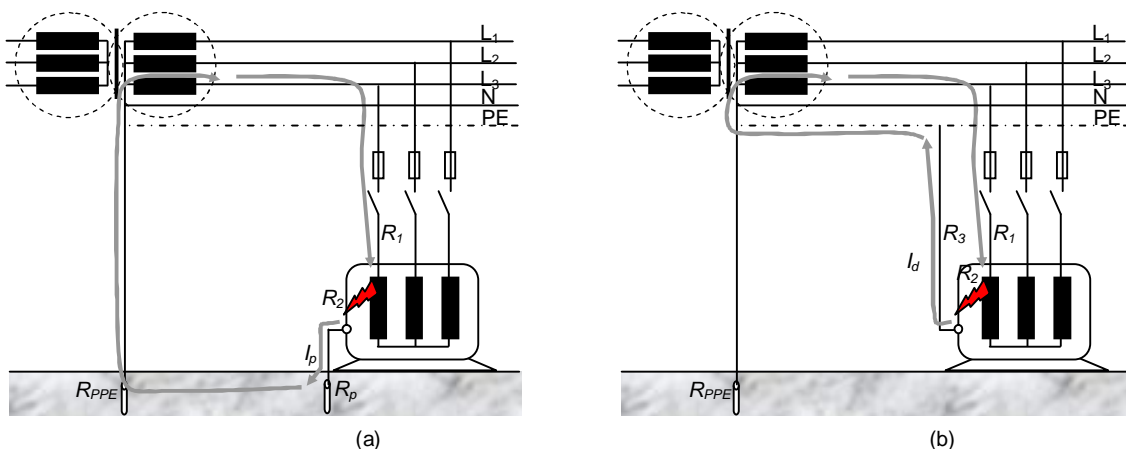


Fig. 10.18 Comparație privind circulația curenților de defect în rețele TT și TN

$$I_p = \frac{1}{R_{PPE} + R_p + R_1 + R_2} = \frac{220}{4 + 4 + 0 + 0} = \frac{220}{8} = 27,5A$$

Pentru a asigura separația instalațiilor defecte de restul instalațiilor, curentul de punere la pământ trebuie să aibă o valoare suficient de mare, care să ducă la topirea siguranței. Dacă se consideră că circuitul este protejat cu o siguranță de 10A, atunci curentul de topire va fi:

$$I_{pr} = k \cdot I_{nf} = 3,5 \cdot 10 = 35A > 27,5A$$

Rezultă că siguranța nu se va topi la trecerea curentului de defect. În situația când la apariția defectului de izolație circuitul nu se separă de restul instalației, pe carcasa metalică a receptorului protejat prin legarea la pământ va rămâne o tensiune care depășește limita tensiunii periculoase. Pentru a se evita această situație se îmbunătățește priza de pământ

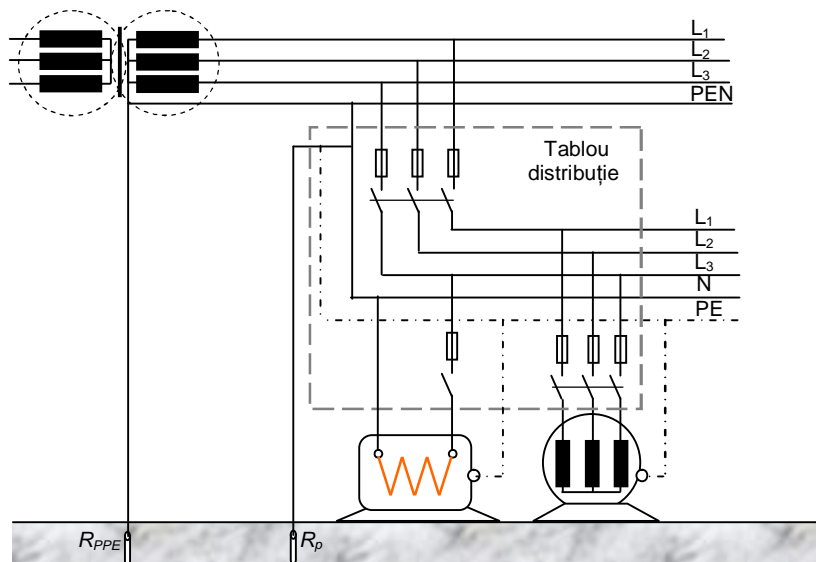


Fig. 10.19 Schema de principiu a rețelelor TN C-S

reducându-se rezistența acestora sau se trece și la legarea la nul.

Protejarea prin legarea la nul are avantajul că mărește curentul de scurgere prin șutarea rezistențelor  $R_{PPE}$  și  $R_p$  printr-un conductor de rezistență  $R_3 \approx 0$ , care leagă carcasa receptorului direct la neutrul instalației de alimentare.

Buna funcționare a protecției prin legare la nul este condiționată de menținerea continuității conductorului de protecție PE (PEN) pe tot traseul rețelei. Ca urmare:

- se urmărește asigurarea rezistenței mecanice necesare a conductoarelor prin alegerea corespunzătoare a materialului și a secțiunii acestora
- se interzice montarea de aparate de comutație sau de protecție, precum și executarea de legături ușor demontabile pe conductoarele de protecție PE sau PEN.

Pentru asigurarea continuității și obținerea unor valori cât mai reduse a impedanței circuitului, conductoarele de protecție PE se execută de preferință din cupru sau oțel. Ca excepție, se poate folosi unul din conductoarele de aluminiu ale unui cablu, cu luarea unor măsuri suplimentare de protecție.

În funcție de sistemul de alimentare, conductoarele de protecție PE pot fi distincte pe tot traseul rețelei (sistemul TN-S), parțial distincte (sistemul TN-C-S) sau dimpotrivă, comune cu conductoarele de nul de lucru (sistemul TN-C).

În ultimul timp, sistemul TN-C-S a căpătat o mai largă utilizare. Se permite un conductor comun de neutru și de protecție pe porțiunea de rețea de la transformator la ultimul tablou de distribuție (legat la o priză de pământ), după care în circuitele terminale conductoarele de protecție PE sunt separate de eventualele conductoare de nul de lucru (necesare racordării receptoarelor monofazate). Legarea la bara de nul se realizează individual pentru fiecare echipament (Fig.10.19).

Pentru creșterea siguranței, rețeaua conductoarelor (comune) PEN se leagă în mod repetat la pământ pe tot traseul rețelei, fiind obligatorie legarea la pământ a fiecărui tablou de distribuție, chiar dacă instalația de legare la pământ de protecție poate fi comună pentru mai multe tablouri de distribuție.

Ca măsură suplimentară de protecție, elementele conductive (carcasele, masele) legate la nul în

circuitele terminale se vor lega suplimentar la instalația de legare de pământ, care este, de regulă aceeași instalație la care se leagă bara de nul a tabloului sau a canalului de bare de alimentare a echipamentelor.

Obs. În cazul rețelelor TT, curenții de defect, cu valori mai mici decât cele ale curenților de scurtcircuit, pot provoca tensiuni de atingere periculoase pentru om (între carcasa receptorului defect și pământ). Se recomandă ca, în paralel cu legarea la conductorul de protecție, să se aplice și alte metode precum izolarea suplimentară de protecție și/sau deconectarea automată de protecție.

#### Concluzii

Atunci când nu există siguranța deconectării echipamentului defect în timpul necesar trebuie prevăzute una sau mai multe dintre măsurile suplimentare de protecție următoare:

- legarea carcaselor metalice la pământ, prin intermediul instalației de legare la pământ la care se racordează tabloul de distribuție respectiv;
- egalizarea potențialelor în zona de manipulare a omului, prin legarea electrică a carcaselor metalice între ele și împreună cu alte elemente conductive din zonă;
- izolarea amplasamentului omului prin pardoseli, platforme sau covoare electroizolante și izolarea de protecție a elementelor conductive din zona de manipulare;
- protecția prin deconectarea automată la apariția tensiunilor periculoase (PATA) sau a curenților de defect periculoși (PACD) care să elimine defectul într-un timp suficient de scurt.