

### ***Capitolul 4 - Măsurile pentru asigurarea securității electrice***

În conformitate cu normativele generale de sănătate și securitate în muncă, echipamentele electrice trebuie să fie astfel proiectate, fabricate, montate, întreținute și exploatate încât să fie asigurată protecția împotriva pericolelor generate de existența unor părți conductoare aflate sub tensiune, precum și a unor influențe externe, provenite din mediul înconjurător sau generate către mediu.

În timpul exploatării instalațiilor electrice se pot produce accidente prin electrocutare, ca o consecință a apariției unor defecte în instalații. Majoritatea defectelor sunt defecte de izolație în raport cu carcasa conductoare ale utilajelor, echipamentelor și sculelor electrice sau în raport cu pământul, cauzele producerii unor astfel de defecte fiind multiple. Această categorie de defecte are cea mai mare pondere, însă nu pot fi neglijate și erorile umane directe, așa cum sunt efectuare de montaje sau de manevre greșite. Prin montaje greșite, așa cum este inversarea conductorului de nul cu conductorul de fază, sunt puse accidental sub tensiune părți conductoare care nu fac parte din circuitele curenților de lucru. În cazul unor manevre greșite, așa cum este conectarea unui tronson de rețea, pot fi puse sub tensiune zone de rețea retrase temporar din exploatare și la care se lucrează. De asemenea, prin manevre greșite de deconectare a unor echipamente de comutație, poate fi lăsat sub tensiune un tronson de rețea în care urmează să intervină operatorii.

Riscul de electrocutare, prin atingere indirectă, în cazul efectuării de montaje greșite poate fi relativ mare, în timp ce riscul de electrocutare datorat manevrelor greșite poate fi eliminat prin utilizarea corespunzătoare a legării temporare de protecție la pământ, prin intermediul căreia se realizează zona protejată și zona de lucru corespunzătoare.

#### **4.1. Măsurile generale de protecție împotriva electrocutării**

Abordările analitice, ca și experiența de exploatare a rețelelor electrice a permis stabilirea unor mijloace de protecție principale (de bază) împotriva electrocutării. În special în cazul atingerilor indirecte, aceste mijloace nu pot asigura o protecție radicală, motiv pentru care sunt asociate cu una sau mai multe măsuri tehnice secundare de protecție. Astfel, mijloacele cu care sunt echipate instalațiile electrice, în vederea reducerii

## **Electrosecuritate**

riscului de electrocutare, formează un sistem de protecție împotriva tensiunilor accidentale.

Procedeele utilizate în tehnica electrosecurității pot fi clasificate în următoarele categorii mari, funcție de metoda prin care se urmărește reducerea riscului de producere a electrocutării:

- ***înlăturarea tensiunilor accidentale de contact sau micșorarea acestora la valori inferioare limitelor periculoase;***
- ***mărirea impedanței echivalente a omului;***
- ***micșorarea duratei de trecere a curentului prin corpul uman.***

Funcție de destinația lor, sistemele de protecție pot fi clasificate în două categorii, și anume:

- ***protecții cu conductor de protecție destinate să evite menținerea unor tensiuni accidentale periculoase;***
- ***protecții fără conductor de protecție destinate să evite producerea unor tensiuni accidentale periculoase, acestea fiind așa-numitele.***

Sistemele din prima categorie își îndeplinesc funcția de protecție fie prin micșorarea tensiunii elementelor protejate, puse accidental sub tensiune, fie prin înlăturarea acestei tensiuni, prin deconectarea elementelor la care se înregistrează tensiunea accidentală. Din această categorie, a protecțiilor cu conductor de protecție, fac parte următoarele:

- protecția prin legare la pământ;
- protecția cu rețea generală de legare la pământ;
- protecția prin legare la nul;
- protecția automată împotriva tensiunilor accidentale;
- protecția automată împotriva curenților de defect;
- protecția prin separare, combinată cu protecția împotriva curenților de defect.

Sistemele de protecție din cea de a doua categorie evită producerea unor tensiuni accidentale periculoase, prin crearea unor circuite izolate față de pământ și prin utilizarea unor tensiuni de lucru de valori reduse. Din această categorie, a protecțiilor fără conductor de protecție, fac parte următoarele:

- izolarea suplimentară de protecție (protecția prin izolare);
- protecția prin alimentare cu tensiune redusă;
- protecția prin separare (utilizarea de transformatoare de separare, având, de obicei, puteri relativ mici, care să permită crearea de circuite de alimentare izolate față de pământ).

## **Electrosecuritate**

O clasificare mai frecvent utilizată a sistemelor de protecție împotriva electrocutării le împarte pe acestea în două categorii, și anume:

- măsuri generale de protecție împotriva producerii accidentelor prin atingere directă;
- măsuri generale de protecție împotriva accidentelor determinate de atingerea indirectă.

### **4.1.1. Măsuri de protecție împotriva electrocutării prin atingere directă**

Protecția împotriva electrocutării prin atingere directă se asigură prin aplicarea atât măsurilor tehnice cât și organizatorice. Măsurile organizatorice au rolul de a le completează pe cele tehnice, în realizarea unei protecții corespunzătoare.

Măsurile tehnice care pot fi utilizate pentru protecția împotriva electrocutării prin atingere directă, funcție de condițiile locale, sunt următoarele:

- acoperirea cu materiale electroizolante a părților active ale instalațiilor și echipamentelor electrice sau așa-numita *izolare suplimentară de protecție*, care nu reprezintă același lucru cu izolația principală, destinată bunei funcționări a echipamentului, pe toată durata de exploatare a acestuia;
- închiderea în carcase de protecție a părților active sau a celor aflate în mișcare, precum și realizarea de acoperiri cu învelișuri exterioare;
- realizarea de îngrădiri de protecție;
- protecția prin amplasare în locuri inaccesibile accidental, prin asigurarea unor distanțe minime de securitate;
- efectuarea de lucrări cu scoaterea de sub tensiune a instalației sau echipamentului electric și verificarea lipsei de tensiune înaintea începerii lucrării propriu-zise;
- legarea temporară la pământ, prin care se crează zona protejată și zona de lucru, prin utilizarea de dispozitive speciale pentru legare la pământ și în scurtcircuit;
- folosirea mijloacelor de protecție electroizolante;
- alimentarea echipamentelor la tensiune foarte joasă, de protecție (alimentarea cu tensiune redusă);
- egalizarea potențialelor și izolarea față de pământ a platformei de lucru;
- limitarea la sursă (inductor) a influențelor electrostatice și electromagnetice.

Măsurile organizatorice care pot fi aplicate în vederea evitării electrocutării prin atingere directă sunt următoarele:

## **Electrosecuritate**

- executarea intervențiilor la instalațiile electrice (depanări, reparări, racordări etc.) trebuie să se facă numai de personal calificat în meseria de electrician, autorizat și instruit pentru lucrările respectiv;
- executarea intervențiilor numai în baza uneia dintre următoarele forme organizatorice de lucru: autorizații de lucru scrise; instrucțiuni tehnice interne de protecție a muncii; atribuții de serviciu; dispoziții verbale; procese verbale; obligații de serviciu sau pe proprie răspundere;
- delimitarea materială a locului de muncă, a zonei de lucru, prin îngrădiri special destinate acestui scop;
- eșalonarea operațiilor de intervenție la instalațiile electrice;
- elaborarea unor instrucțiuni de lucru pentru fiecare intervenție la instalațiile electrice și a unor proceduri pentru fiecare tip de intervenție;
- organizarea și executarea verificărilor periodice ale măsurilor tehnice de protecție împotriva atingerilor directe.

***Cea mai eficientă măsură tehnică de protecție împotriva electrocutării prin atingere directă este aceea a utilizării unor tensiuni de alimentare cât mai mici***, metodă prin care se obține o reducere directă a riscului de electrocutare. În practică însă, această măsură este utilizată pe scară relativ restrânsă, datorită unor dificultăți de ordin constructiv și a unor dezavantaje economice, pe care le implică adoptarea acestei măsuri.

Întotdeauna, măsura tehnică de electrosecuritate ce constă în alimentarea cu tensiune redusă este asociată cu o altă măsură tehnică de protecție, din următoarele două motive:

- chiar și la tensiuni foarte reduse, de 12 V sau de 24 V, în anumite condiții, se pot produce electrocutări grave;
- este posibilă producerea unor defecte, în sistemul de protecție, care să conducă la apariția unor tensiuni mari, în rețeaua de tensiune redusă.

Acolo unde utilizarea tensiunii reduse, ca măsură tehnică principală de protecție, nu poate fi aplicată, trebuie adoptat mijlocul de protecție imediat următor, în ordinea descrescătoare a eficienței acestora. ***Astfel, se urmărește adoptarea unor măsuri prin intermediul cărora elementele active ale instalațiilor electrice să fie inaccesibile atingerilor involuntare***, precum:

- ***izolarea de protecție*** – acoperirile cu lacuri, vopsele, emailuri, straturi de oxizi, cămăși realizate din materiale fibroase, chiar dacă ele sunt impregnate corespunzător și asigură în bune condiții izolația de lucru, nu pot fi considerate ca izolații de protecție împotriva atingerilor directe;
- ***realizarea de carcase de protecție***, destinate atât evitării atingerilor directe sau producerii de traumatisme electrice (mai ales arsuri), cât și protejării construcției

## **Electrosecuritate**

interne a echipamentelor împotriva unor șocuri mecanice, pătrunderii umezelii sau a unor agenți corozivi, care pot deteriora izolația acestora;

- **amplasarea elementelor active ale instalațiilor la înălțimi inaccesibile;**
- **realizarea de îngrădiri** care să nu permită accesul persoanelor către elementele aflate sub tensiune ale instalațiilor, îngrădiri astfel realizate încât în zona de manipulare să nu existe elemente active;
- **realizarea de blocări electrice și mecanice**, astfel proiectate încât să determine scoaterea sigură de sub tensiune a unui sector, atunci când sunt deschise carcusele echipamentelor sau când sunt înlăturate îngrădirile de protecție.

**Foarte importantă pentru protecția personalului de întreținere și exploatare a instalațiilor electrice, împotriva atingerilor directe, este utilizarea mijloacelor individuale (locale) de protecție.** Acestea pot fi clasificate în șase categorii, care implică atât aspecte tehnice, cât și organizatorice, astfel:

- **mijloace de protecție izolante**, care realizează funcția de protecție prin izolarea omului față de părțile active ale instalațiilor, din această categorie făcând parte prăjinile electroizolante pentru acționarea separatoarelor și garniturilor de scurtcircuitare, cleștii izolanți pentru manipularea siguranțelor, sculele cu mânere electroizolante, mănușile, cizmele și galoșii electroizolanți, covorașele din cauciuc electroizolant, platformele izolante etc.;
- **mijloace de protecție individuale împotriva efectelor arcului electric deschis;**
- **indicatoare de tensiune mobile;**
- **garnituri mobile de scurtcircuitare și legare la pământ**, practic cel mai sigur mijloc de protecție împotriva tensiunilor accidentale datorate manevrelor eronate și tensiunilor induse;
- **îngrădiri provizorii (mobile)** care să împiedice atingerea unor elemente active din vecinătatea zonei de lucru;
- **plăci avertizoare**, al căror rol poate fi de: prevenire a existenței unui pericol; interdicere a unor acțiuni care ar putea determina producerea unui accident; admiterea unor acțiuni, fără risc de producere a unui accident; indicarea unor măsuri care trebuie luate; amintirea unor măsuri care au fost deja luate.

Atât adoptarea măsurilor tehnice și organizatorice de protecție împotriva atingerilor directe, cât și utilizarea unui anumit echipament individual de protecție sunt în strânsă dependență cu tipul instalațiilor, tensiunile de lucru ale acestora, gradul de pericol pe care în prezintă locul de muncă, tipul lucrării ce urmează a fi executate și posibilitatea de acces în zona de lucru a persoanelor neavizate.

## *Electrosecuritate*

### **4.1.2. Măsuri de protecție împotriva electrocutării prin atingere indirectă**

Protecția împotriva electrocutării prin atingere indirectă se realizează numai prin măsuri și mijloace de protecție tehnice, fiind interzisă înlocuirea măsurilor și mijloacelor tehnice de protecție cu măsuri de protecție organizatorice.

Pentru evitarea electrocutării prin atingere indirectă este obligatoriu să se aplice simultan două măsuri de protecție, una dintre ele având rol de măsură de protecție principală, iar cealaltă având rol de măsură de protecție suplimentară. Aceste măsuri de protecție formează un sistem de protecție. Măsura de protecție principală trebuie să asigure protecția în orice condiții (protecție necondiționată), iar măsura de protecție suplimentară trebuie să asigure protecția în cazul deteriorării protecției principale. Cele două măsuri de protecție trebuie să fie astfel alese încât să nu se anuleze reciproc.

Singura excepție de la necesitatea aplicării simultane a două măsuri de protecție o reprezintă locurile de muncă puțin periculoase din punctul de vedere al pericolului de electrocutare, caz în care este suficientă aplicarea unei singure măsuri de protecție, evident din categoria acelor măsuri care pot fi considerate măsuri principale.

În general, măsurile de protecție care pot fi aplicate pentru evitarea electrocutării prin atingere indirectă sunt următoarele:

- utilizarea tensiunilor foarte joase de securitate;
- legarea la pământ;
- legarea la nul de protecție;
- izolarea suplimentară de protecție, aplicată utilajului;
- izolarea amplasamentului;
- separarea de protecție;
- egalizarea și/sau dirijarea potențialelor;
- deconectarea automată în cazul apariției unei tensiuni accidentale periculoase sau a unor curenți de defect periculos de mari;
- folosirea mijloacelor de protecție electroizolante.

În majoritatea situațiilor, este interzisă folosirea drept protecție principală a următoarelor măsuri: izolarea amplasamentului; egalizarea și/sau dirijarea potențialelor; deconectarea automată la tensiuni periculoase sau la circulația curenților de defect periculoși; folosirea mijloacelor de protecție electroizolante. Singurele excepții de la această restricție sunt acelea ale instalațiilor electrice de utilizare casnică și a stâlpilor liniilor electrice aeriene de joasă tensiune.

Astfel, în cazul instalațiilor electrice casnice, deconectarea automată la curenți de defect poate constitui măsura principală de protecție împotriva electrocutării datorate unei atingeri indirecte, iar în cazul stâlpilor liniilor electrice aeriene de joasă tensiune, dirijarea distribuției potențialelor este utilizată ca mijloc principal de protecție.

## **Electrosecuritate**

***Pentru instalațiile și echipamentele electrice de înaltă tensiune***, sistemul de protecție împotriva electrocutării prin atingere indirectă se realizează prin aplicarea uneia sau, cumulativ, a mai multor măsuri de protecție, ***legarea la pământ de protecție fiind, însă, întotdeauna obligatorie.***

Măsurile de protecție împotriva electrocutării prin atingere indirectă se aplică diferențiat funcție de modul de tratare a neutrlui rețelelor electrice, astfel:

**A. În cazul rețelelor legate la pământ:**

- utilizarea tensiunilor foarte joase de securitate;
- legarea la pământ;
- legarea la nul de protecție;
- izolarea suplimentară de protecție, aplicată utilajului sau amplasamentului;
- separarea de protecție;
- egalizarea și/sau dirijarea potențialelor;
- deconectarea automată a alimentării rețelei în cazul apariției unei tensiuni accidentale periculoase sau a unor curenți de defect periculos de mari.

**B. În cazul rețelelor având neutrul izolat față de pământ:**

- legarea la pământ;
- egalizarea și/sau dirijarea potențialelor;
- controlul permanent al rezistenței de izolație față de pământ a rețelei, asociat cu semnalizarea producerii simplei puneri la pământ;
- deconectarea automată, rapidă, a alimentării rețelei în cazul producerii unei duble puneri la pământ.

Măsurile de protecție enumerate anterior, atât în cazul rețelelor legate la pământ (de tip **TT** sau **TN** - cu variantele constructive corespunzătoare), cât și în cazul rețelelor izolate față de pământ (rețele de tip **IT**), pot fi utilizate atât ca măsuri de protecție principală, cât și ca măsuri suplimentare de protecție, având însă în vedere și restricțiile arătate.

Pe lângă aceste măsuri, ca măsuri de protecție suplimentară mai pot fi utilizate:

- utilizare mijloacelor de protecție electroizolante, mai ales în cazul efectuării de lucrări de scurtă durată;
- folosirea mijloacelor speciale de protecție împotriva influențelor electrostatice și electromagnetice, aplicate atât la sursa inductoare, cât și la elementele supuse acestor influențe.

Dintre mijloacele de protecție enumerate anterior, cele mai importante, datorită eficienței ridicate a acestora, sunt protecția prin legare la pământ și protecția prin legare la nul. Instalațiile aferente acestor măsuri de protecție trebuie să asigure dirijarea

## *Electrosecuritate*

curenților de defect pe circuite impuse, astfel alese încât să fie evitată producerea unor tensiuni accidentale, de atingere și de pas, periculoase. În plus, legarea la nul de protecție determină, în asociere cu utilizarea unor mijloace de protecție la supracurenți corespunzător alese, deconectarea rapidă a rețelei cu defect de izolație. Acesta este motivul pentru care legarea la nul de protecție, care determină deconectarea tronsonului de rețea cu defect de izolație, este utilizată ca măsură de protecție principală în anumite rețele de joasă tensiune, măsura de protecție suplimentară fiind, în acest caz, aceea a legării la pământ.

Legarea la nul de protecție nu se poate constitui într-o măsură de protecție împotriva electrocutării, în mod evident, în rețelele având neutrul izolat față de pământ și nici în rețelele având tensiuni nominale mai mari de 1000 V. *Astfel, protecția prin legare la pământ are aplicabilitate mai largă decât legarea la nul de protecție, fiind utilizată în rețelele de joasă tensiune, în cele de înaltă tensiune și împotriva tensiunilor induse prin influențe electrostatice și electromagnetice.*

Legarea la pământ poate fi utilizată, ca măsură principală de protecție, în următoarele situații:

- alimentarea echipamentelor electrice fixe, mobile și portabile din rețele de joasă tensiune având neutrul izolat față de pământ;
- alimentarea echipamentelor electrice fixe și mobile din rețele de joasă tensiune având neutrul legat la pământ;
- alimentarea echipamentelor electrice din rețele de înaltă tensiune.

Domeniul de utilizare al legării la nul de protecție, ca măsură de protecție principală împotriva electrocutării prin atingere indirectă, este numai acela al utilajelor și echipamentelor electrice fixe și mobile alimentate din rețele având neutrul legat la pământ, în care nu se pot asigura, prin mijloace convenabile de legare la pământ, tensiuni accidentale de atingere mai mici de 50 V.

Așa cum se poate observa, nici legarea la pământ și nici legarea la nul de protecție nu pot fi utilizate ca măsuri principale de protecție în cazul utilajelor și echipamentelor portabile, alimentate din rețele având neutrul legat la pământ. În acest caz, măsurile principale de protecție pot fi:

- utilizarea tensiunilor foarte joase de securitate;
- izolarea suplimentară de protecție, aplicată utilajului (utilaje de clasă II);
- separarea de protecție.

În adoptarea măsurii principale de protecție, în acest caz al echipamentelor și utilajelor portabile, pe lângă criteriul siguranței în funcționarea mijlocului de protecție respectiv, se are în vedere și criteriul ușurinței în manipularea utilajului.



### 4.2. Protecția prin legare la pământ

Instalațiile de legare la pământ reprezintă totalitatea măsurilor adoptate pentru conectarea la pământ a unor componente electrice conductoare. Aceste instalații sunt așadar componente importante ale rețelelor de transport, repartiție, distribuție și furnizare a energiei electrice, deci, practic, la orice nivel de tensiune.

Scopul inițial al legării la pământ de protecție a fost de a asigura securitatea persoanelor și bunurilor, în zona deservită de instalația de legare la pământ. Pentru atingerea acestui scop, este necesară existența unei căi de curent cu o secțiune mare și cu o impedanță relativ scăzută, la frecvență industrială, astfel încât tensiunile apărute, în condițiile unui curent de defect intens, să nu fie periculoase.

Actualmente, o bună instalație de legare la pământ are mai multe funcții, fiind necesară pentru următoarele:

- protecția clădirilor și instalațiilor împotriva loviturilor directe de trăsnet;
- securitatea vieții oamenilor și animalelor, prin limitarea tensiunilor de atingere și de pas, până la valori acceptabile din punctul de vedere al securității electrice;
- asigurarea compatibilității electromagnetice;
- funcționarea corectă a rețelei de alimentare cu energie electrică și asigurarea unei calități corespunzătoare a energiei furnizate.

În general, o instalație de legare la pământ trebuie să satisfacă trei cerințe :

- **descărcarea la pământ a curenților de trăsnet și circulația curenților de scurtcircuit:** instalația de legare la pământ trebuie să protejeze personalul, să prevină daunele determinate de conturnarea izolației și de eventualele incendii sau explozii provocate de loviturile directe de trăsnet și supraîncălzirea căilor de curent și a circuitelor magnetice, determinate de circulația curenților de scurtcircuit;
- **securitatea electrică:** instalația de legare la pământ trebuie să conducă curentul de trăsnet și curenții de scurtcircuit, fără a determina apariția unor valori inadmisibile ale tensiunilor accidentale de pas și de atingere;
- **protecția echipamentelor și asigurarea unei disponibilități corespunzătoare a rețelei:** instalația de legare la pământ trebuie să protejeze echipamentele electronice prin asigurarea unei căi de impedanță redusă între ele; alegerea corectă a traseelor, a amplasamentelor și ecranarea corespunzătoare sunt aspecte importante, în scopul evitării interferențelor dintre sursele de perturbații și echipamentele electrice aflate în funcțiune și al obținerii unei corecte funcționări a sistemelor de protecție.

## **Electrosecuritate**

Legarea la pământ este destinată protecției împotriva atingerilor indirecte, dar și protecției împotriva atingerilor directe, în cazul manevrelor greșite, în cazul lucrului în instalații supuse unor influențe electrostatice și electromagnetice importante și în cazul rețelelor caracterizate prin existența unor sarcini electrice remanente mari. Astfel, în primul caz securitatea electrică este realizată prin instalații de legare la pământ cu funcționare permanentă, iar în ultimele cazuri protecția este asigurată, în majoritatea situațiilor, prin legarea la pământ temporară.

### **4.2.1. Principii de bază ale protecției prin legare la pământ**

La dimensionarea instalațiilor de protecție prin legare la pământ se iau în considerare, pe lângă rezistența omului și aceea a circuitului prin care se închide curentul electric, și alți factori, precum: valoarea intensității curentului, căile de circulație ale acestuia, tipul rețelei electrice la care este racordat utilajul considerat.

*Criteriul principal de apreciere a eficienței instalației de protecție prin legare la pământ este valoarea tensiunii accidentale, de atingere și de pas, în cazul producerii unui defect.*

Dimensionarea instalațiilor de protecție prin legare la pământ, având în vedere importanța deosebită a acestora în tehnica electrosecurității, se face în cele mai defavorabile condiții, și anume:

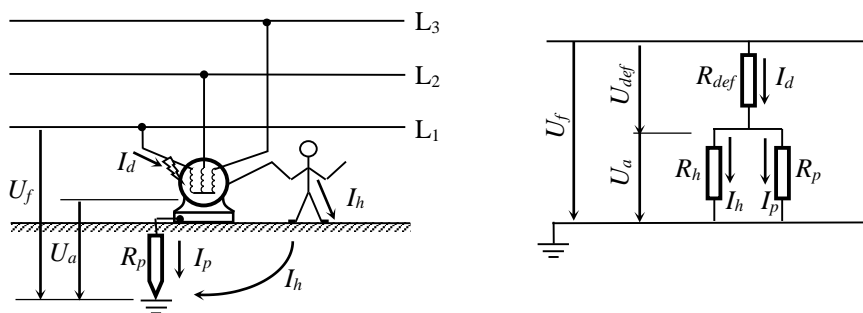
- ***rezistența de trece între om și pământ*** se consideră neglijabil de mică;
- ***curentul de defect la pământ din rețeaua respectivă*** (în calculele de dimensionare a elementelor constructive ale instalației se ia în considerare valoarea maximă);
- ***tensiunea la care este supus omul*** se consideră ca fiind egală cu întreaga tensiune a instalației de legare la pământ, situație similară cu cazul în care omul atinge simultan carcasa echipamentului care a intrat accidental sub tensiune și un element conductor aflat în contact cu solul, în zona de potențial nul.

Dacă se examinează principiul protecției prin legare la pământ, într-un caz simplu, pot fi evidențiați factorii determinanți asupra gravității efectelor electrocutării, precum și modalitățile de eliminare a acestor factori sau de diminuare a gravității efectelor lor. Astfel, se consideră schema electrică de alimentare a unui echipament trifazat simplu, a cărui schemă electrică echivalentă este cea redată în figura 4.1. În această schemă echivalentă se neglijează reactanțele capacitive, capacitățile fiind suficient de mici încât să poată fi considerate ca fiind șuntate de rezistențele circuitului, semnificația notațiilor fiind următoarea:

- $R_{def}$  – rezistența izolației fază – pământ a echipamentului, pe faza cu defect de izolație;

## Electrosecuritate

- $R_p$  – rezistența instalației de legare la pământ de protecție;
- $R_h$  – rezistența corpului uman, considerată ca fiind egală cu  $3000 \Omega$  - pentru cazul atingerilor indirecte;
- $U_a$  – tensiunea accidentală de atingere;
- $I_d, I_p, I_h$  – curentul de defect, curentul prin instalația de legare la pământ de protecție și respectiv curentul prin corpul uman.



**Fig. 4.1.** Circulația curenților în cazul producerii unui defect de izolație fază-pământ și la atingerea carcasei utilajului

Dacă în nodul cu defect se aplică prima teoremă a lui Kirchhoff, iar pe ramurile de circuit pe care apare tensiunea accidentală se scrie legea lui Ohm, rezultă:

$$\begin{cases} I_d = I_p + I_h \\ I_p = \frac{U_a}{R_p}; & I_h = \frac{U_a}{R_h} \end{cases}, \quad (4.1)$$

rezolvarea sistemului (4.1) conducând la obținerea unei relații de calcul pentru tensiunea de atingere de forma:

$$U_a = I_d \cdot \frac{R_p \cdot R_h}{R_p + R_h}. \quad (4.2)$$

În același timp, dacă se aplică legea lui Ohm circuitului instalației de legare la pământ de protecție, rezultă o relație a intensității curentului care circulă prin aceasta, de forma:

$$I_p = \frac{U_a}{R_p} = \frac{I_d \cdot \frac{R_p \cdot R_h}{R_p + R_h}}{R_p} = I_d \cdot \frac{R_h}{R_p + R_h}. \quad (4.3)$$

## Electrosecuritate

Dacă instalația de legare la pământ este corect dimensionată și nu îi este afectată integritatea, atunci rezistența totală a acesteia este mult mai mică decât rezistența de calcul a corpului uman, astfel încât, din relația (4.2) rezultă:

$$U_a = I_d \cdot R_p, \quad (4.4)$$

iar din relația (4.3) se obține:

$$I_p \approx I_d. \quad (4.5)$$

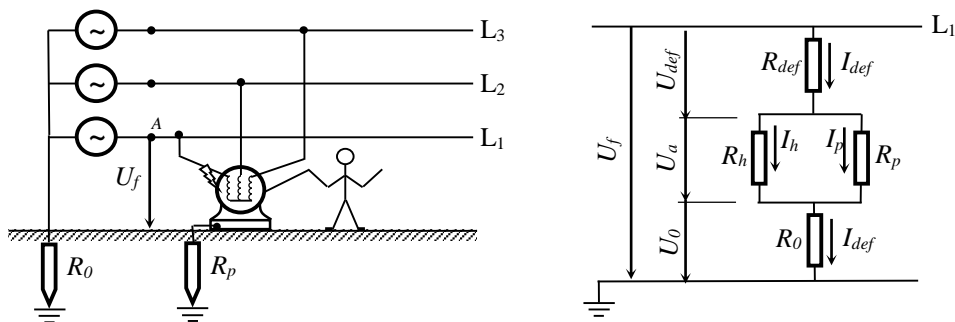
Rezultă, astfel, că tensiunea de atingere este determinată de **intensitatea curentului care circulă prin instalația de legare la pământ de protecție și de rezistența acesteia**, valorile maxime ale tensiunilor de atingere și de pas nedepășind tensiunea totală a instalației de legare la pământ, indiferent de tensiunea de alimentare a utilajului cu defect de izolație.

În concluzie, nivelul tensiunilor accidentale poate fi redus și, implicit, intensitatea curentului prin corpul uman, la atingere indirectă, poate fi păstrată în limite nepericuloase, dacă se realizează o legătură fermă a carcaselor utilajelor la pământ, prin intermediul unor instalații a căror rezistență este mică.

Ațiunea protectoare a unei instalații de legare la pământ de protecție depinde, în cea mai mare măsură, de modul de tratare a neutrului rețelei, trebuind tratate în mod distinct rețelele având punctul neutru legat la instalația de legare la pământ de exploatare și cele având neutrul izolat, conform celor prezentate în continuare.

### 4.2.2. Protecția prin legare la pământ în cazul rețelelor de tip TT

Se consideră o rețea electrică trifazată având neutrul direct legat la pământ, protecția împotriva atingerilor indirecte fiind realizată prin legarea la pământ a carcaselor conductoare ale utilajelor, conform schemei din figura 4.2.



**Fig. 4.2.** Schema electrică corespunzătoare atingerii indirecte într-o rețea trifazată realizată în schemă de tip TT

## Electrosecuritate

Schema electrică echivalentă din figura 4.2 corespunde situației în care rețeaua nu este extinsă, putându-se, astfel, neglija capacitățile transversale ale acesteia, și în condițiile în care un defect de rezistență  $R_{def}$  s-a produs între una dintre fazele rețelei și carcasa metalică a unui utilaj conectat la aceasta.

Producerea defectului de izolație determină circulația unui curent, pe circuitul format din conductorul activ, pământ, rezistența defectului, rezistența instalației de legare la pământ de exploatare ( $R_0$ ) și rezistența instalației de legare la pământ de protecție ( $R_p$ ). Relația de calcul a intensității curentului de defect este de forma:

$$I_{def} = \frac{U_f}{R_{def} + R_0 + \frac{R_h \cdot R_p}{R_h + R_p}}. \quad (4.6)$$

Relația de calcul a intensității curentului care circulă prin instalația de legare la pământ de protecție, funcție de intensitatea curentului de defect, poate fi determinată din relațiile de calcul ale tensiunii accidentale de pe instalația de protecție:

$$U_a = I_{def} \cdot \frac{R_h \cdot R_p}{R_h + R_p} = I_p \cdot R_p = I_h \cdot R_h, \quad (4.7)$$

din relațiile (4.6) și (4.7) rezultând:

$$I_p = U_f \cdot \frac{R_h}{(R_{def} + R_0) \cdot (R_p + R_h) + R_p \cdot R_h}. \quad (4.8)$$

Dacă instalația de protecție este dimensionată corespunzător, atunci rezistența acesteia este mult mai mică decât rezistența convențională a corpului uman, atât pentru cazul atingerii indirecte, cât și pentru acela al atingerii directe. În aceste condiții, intensitatea curentului total de defect este practic egală cu aceea a curentului care circulă prin instalația de legare la pământ de protecție, adică:

$$I_{def} = I_p = \frac{U_f}{R_{def} + R_0 + R_p}. \quad (4.9)$$

În relația (4.9), rezistența  $R_{def}$  include și rezistența conductorului fazei cu defect, de la sursă la locul defectului.

În situația cea mai defavorabilă, a unui defect metalic produs la unul dintre utilajele situate foarte aproape de sursă, intensitatea curentului de defect este dată de relația:

$$I_{def} = \frac{U_f}{R_0 + R_p}, \quad (4.10)$$

## Electrosecuritate

iar tensiunea accidentală maximă, la care este supus omul în cazul atingerii carcasei utilajului defect, este dată de relația:

$$U_a = I_p \cdot R_p = I_{def} \cdot R_p = U_f \cdot \frac{R_p}{R_0 + R_p}. \quad (4.11)$$

În același timp, dacă un om atinge un element al instalației de legare la pământ de exploatare, el va fi supus unei tensiuni accidentale a cărei valoare maximă este dată de relația:

$$U_0 = I_{def} \cdot R_0 = U_f \cdot \frac{R_0}{R_0 + R_p}. \quad (4.12)$$

Dacă se sumează relațiile (4.11) și (4.12), se observă că suma celor două tensiuni de atingere este constantă și egală cu tensiunea de fază a rețelei, indiferent de valorile absolute ale rezistențelor celor două instalații de legare la pământ: de exploatare și de protecție. În consecință, cel puțin una dintre cele două tensiuni de atingere poate să atingă valori periculoase. Dacă se notează cu  $k$  raportul dintre rezistența instalației de legare la pământ de protecție și aceea a instalației de legare la pământ de exploatare a acelei rețele, atunci căderile de tensiune pe aceste instalații pot fi scrise și sub forma:

$$U_a = U_f \cdot \frac{k}{1+k}, \quad U_0 = U_f \cdot \frac{1}{1+k}, \quad \text{unde} \quad k = \frac{R_p}{R_0}. \quad (4.13)$$

Din relația (4.13) rezultă, evident, că tensiunile de atingere nu depind de valorile absolute ale rezistențelor instalațiilor de legare la pământ, ci de raportul acestora. Acest fapt reprezintă un dezavantaj important al protecției prin legare la pământ, aplicate în rețelele având neutrul legat la pământ. Astfel, în rețelele **TT** nu este posibil să se obțină valori ale tensiunilor accidentale mai mici decât limita maximă admisibilă, în întreaga rețea, numai prin realizarea protecției prin legare la pământ.

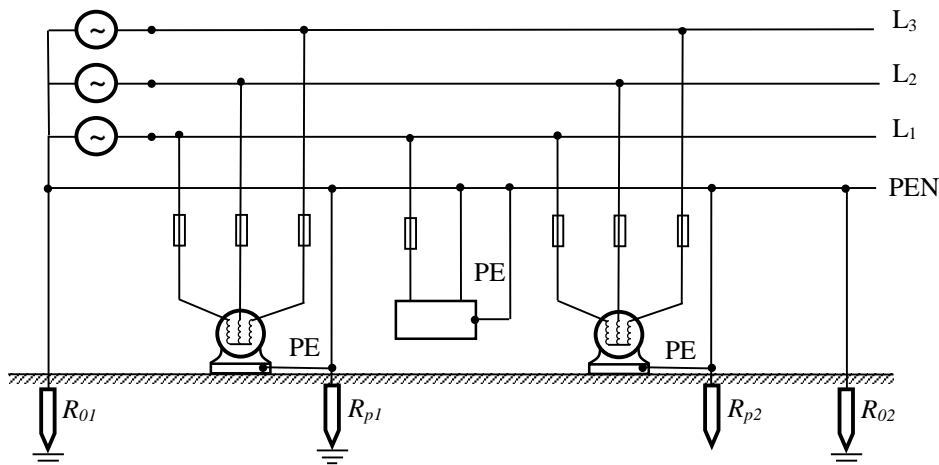
În cazul rețelelor având neutrul legat la pământ pot fi micșorate valorile tensiunilor accidentale dacă se realizează o legătură galvanică fermă, prin intermediul unui conductor de rezistență mică, între priza de legare la pământ de exploatare și priza de legare la pământ de protecție. În acest fel, se transformă protecția prin legare la pământ în protecție prin legare la nulul de protecție, rețeaua devenind una de tip **TN**.

O altă mărime de intrare în calculul de dimensionare a instalațiilor de protecție prin legare la pământ se referă la creșterea periculoasă a tensiunii conductorului de nul al rețelei, în cazul în care rezistențele de dispersie ale prizelor de pământ ale utilajelor protejate sunt mult mai mici decât rezistența de dispersie a prizei de pământ a instalației de legare la pământ de exploatare ( $R_0$ ).

Astfel, pentru a preveni creșterea tensiunii conductorului de nul la valori periculoase, toate utilajele la care protecția este realizată prin legare la pământ, cu prize

## Electrosecuritate

separate, sunt concomitent legate și la conductorul de nul, așa cum se poate observa în figura următoare:



**Fig. 4.3.** Schemă de protecție cu utilaje legate concomitent la prize de pământ separate și la conductorul de nul de lucru al rețelei

Într-o rețea în care se aplică, pentru o parte dintre utilaje, protecția prin legare la pământ, cu prize separate, legarea la conductorul de nul, pentru o altă parte dintre utilaje, este admisă numai atunci când toate utilajele cu protecție prin legare la pământ sunt legate, concomitent, și la conductorul de nul de protecție, conform reprezentării grafice din figura 4.3.

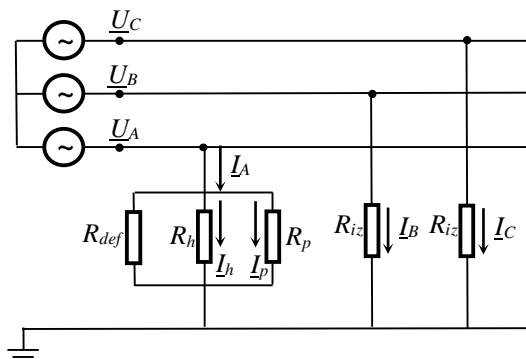
Normativele care fac referire la rezistențele de dispersie ale prizelor de pământ ale instalațiilor de protecție și ale celor de exploatare limitează valoarea maximă acceptabilă a acestora la  $4 \Omega$ .

### 4.2.3. Protecția prin legare la pământ în cazul rețelelor de tip IT

În cazul acestui tip de rețele, tensiunea față de pământ a fazei defecte și, deci, tensiunea de atingere scade atunci când rezistența de defect are o valoare mică. În consecință, în acest tip de rețele protecția poate fi realizată prin legarea voită a carcaselor utilajelor la pământ, prin intermediul unei instalații de legare la pământ de protecție, rezistența redusă a acesteia determinând micșorarea semnificativă a rezistenței echivalente a defectului. Astfel, la atingerea carcasei utilajului defect de către om, rezistența în raport cu pământul se va compune din rezistența defectului de izolație,  $R_{def}$ , rezistența corpului uman,  $R_h$ , și rezistența instalației de legare la pământ de protecție,  $R_p$ , toate aceste rezistențe fiind conectate în paralel, așa cum se poate observa din schema electrică echivalentă prezentată în figura 4.4.

## Electrosecuritate

Pentru a evidenția modul în care legarea la pământ poate asigura protecția împotriva electrocutării prin atingere indirectă, se consideră o rețea de mică extindere, în care capacitățile transversale să poată fi neglijate, o altă ipoteză simplificatoare fiind aceea a rețelei perfect simetrice și alimentate cu un sistem echilibrat de tensiuni.



**Fig. 4.4.** Schema electrică echivalentă a circuitului la producerea unui defect în rețele de tip IT

Rolul protector al instalației de legare la pământ și influența acesteia asupra valorii intensității curentului, care se închide prin corpul uman, rezultă din examinarea circuitului de legare la pământ. Astfel, pentru circuitul reprezentat în figura 4.7, se poate scrie, pentru început, relația de calcul a rezistenței echivalente a fazei cu defect,  $R_{ech}$ , în raport cu pământul de referință:

$$\frac{1}{R_{ech}} = \frac{1}{R_{def}} + \frac{1}{R_h} + \frac{1}{R_p}. \quad (4.14)$$

Pentru determinarea relației de calcul a intensității curentului care se închide prin corpul uman, pentru început este necesar să se calculeze intensitatea curentului prin circuitul fazei pe care a apărut defectul monofazat. Astfel, dacă în circuitul din figura 4.4 se aplică legile lui Kirchhoff, poate fi scris următorul sistem de ecuații:

$$\begin{cases} \underline{U}_A - \underline{U}_B = R_{ech} \cdot \underline{I}_A - R_{iz} \cdot \underline{I}_B \\ \underline{U}_A - \underline{U}_C = R_{ech} \cdot \underline{I}_A - R_{iz} \cdot \underline{I}_C \\ \underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C = 0 \end{cases} \quad (4.15)$$

Din ecuațiile de tensiuni pot fi extrase relațiile de calcul ale intensităților curentilor care circulă pe fazele sănătoase ale rețelei:

$$\underline{I}_B = \frac{R_{ech} \cdot \underline{I}_A + \underline{U}_B - \underline{U}_A}{R_{iz}}, \quad (4.16)$$



## Electrosecuritate

$$\underline{I}_C = \frac{R_{ech} \cdot \underline{I}_A + \underline{U}_C - \underline{U}_A}{R_{iz}}. \quad (4.17)$$

Înlocuind relațiile (4.16) și (4.17) în ecuația de curenți din sistemul (4.15), rezultă relația de calcul a intensității curentului pe faza cu defect, astfel:

$$\underline{I}_A = \frac{2 \cdot \underline{U}_A - \underline{U}_B - \underline{U}_C}{R_{iz} + 2 \cdot R_{ech}}. \quad (4.18)$$

Sistemul de tensiuni este unul echilibrat, conform ipotezelor inițiale, între fazorii tensiunilor de fază fiind valabilă relația:

$$\underline{U}_A + \underline{U}_B + \underline{U}_C = 0, \quad (4.19)$$

astfel încât relația de calcul a intensității curentului pe faza cu defect devine de forma:

$$\underline{I}_A = \frac{3 \cdot \underline{U}_A}{R_{iz} + 2 \cdot R_{ech}}. \quad (4.20)$$

Tensiunea accidentală totală, la locul defectului și în prezența instalației de legare la pământ de protecție, rezultă, conform legii lui Ohm, de forma:

$$\underline{U}_a = R_h \cdot \underline{I}_h = R_{ech} \cdot \underline{I}_A. \quad (4.21)$$

Din relațiile (4.20), (4.21) și (4.14) se obține o relație de calcul a intensității curentului prin corpul uman, de forma:

$$I_h = \frac{\sqrt{3} \cdot U}{2 \cdot R_h + \frac{R_{iz} \cdot (R_{def} \cdot R_p + R_{def} \cdot R_h + R_p \cdot R_h)}{R_{def} \cdot R_p}}, \quad (4.22)$$

în care  $U$  este tensiunea de linie a rețelei.

Dacă utilajul la care s-a produs defectul nu este legat la instalația de legare la pământ de protecție, se poate obține relația de calcul a intensității curentului prin corpul uman prin particularizarea relației (4.22) pentru  $R_p \rightarrow \infty$ , obținându-se expresia:

$$I_{h(R_p \rightarrow \infty)} = \frac{\sqrt{3} \cdot U}{2 \cdot R_h + \frac{R_{iz} \cdot (R_h + R_{def})}{R_{def}}}. \quad (4.23)$$

Dacă se raportează relațiile (4.22) și (4.23), atunci se obține:

## **Electrosecuritate**

$$\frac{I_h}{I_{h(R_p \rightarrow \infty)}} = \frac{2 \cdot R_h + \frac{R_{iz} \cdot (R_h + R_{def})}{R_{def}}}{2 \cdot R_h + \frac{R_{iz} \cdot (R_h + R_{def})}{R_{def}} + \frac{R_{iz} \cdot R_h}{R_p}} < 1, \quad (4.24)$$

raport care este subunitar.

### **CONCLUZII:**

- intensitatea curentului care circulă prin corpul uman este întotdeauna mai mică atunci când carcasa echipamentului cu defect este legată la o instalație de legare la pământ de protecție;
- intensitatea curentului este cu atât mai mică cu cât rezistența instalației de protecție prin legare la pământ este mai mică și cu cât izolația fazelor sănătoase față de pământ este mai bună.
- prizele de pământ trebuie să fie dimensionate astfel încât să asigure limitarea tensiunilor de atingere la valori nepericuloase, chiar și în cazul în care rezistențele de izolație ale fazelor sunt relativ mici (rezistențele de dispersie ale prizelor de pământ ale acestor instalații variază între 1  $\Omega$  și 20  $\Omega$ ).
- spre deosebire de rețelele de tip **TT** sau **TN**, în cazul rețelelor de tip **IT** protecția prin legare la pământ dirijează circulația curenților de defect pe anumite trasee, fără însă a determina deconectarea tronsonului de rețea la care a apărut defectul de izolație, cu riscul de transformare a defectului monofazat în unul polifazat;
- este necesară asocierea protecției prin legare la pământ a rețelelor de tip **IT** cu sisteme de monitorizare continuă a stării izolației rețelei.

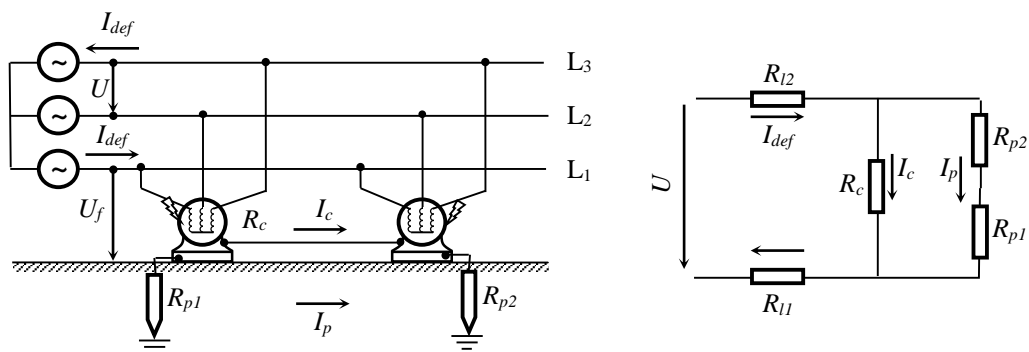
### ***Cazul apariției unei duble puneri la pământ***

Dacă în timpul în care există o simplă punere la pământ la carcasa unui utilaj se produce un defect la pământ și pe altă fază a rețelei, indiferent la care dintre utilajele conectate la aceasta, riscul de electrocutare devine inadmisibil de mare, atingerea indirectă fiind, practic, la fel de gravă ca și o atingere bipolară, așa cum se poate observa și din figura 4.5.

Dacă cele două utilaje reprezentate în figura 4,5 au carcassele legate la câte o priză de pământ de protecție, având rezistențele de dispersie  $R_{p1}$  și respectiv  $R_{p2}$ , și dacă se consideră un defect metalic, neglijându-se rezistențele defectelor care s-au produs la nivelul celor două utilaje, intensitatea curentului de defect se calculează cu relația:



## Electrosecuritate



**Fig. 4.6.** Circulația curenților de defect în cazul unei duble puneri la pământ într-o rețea de tip IT în care există și legătură de egalizare a potențialelor

În ipoteza corectei dimensionări a legăturii de egalizare a potențialelor, rezistența acestui conductor este mult mai mică decât suma rezistențelor instalațiilor de legare la pământ de protecție, intensitatea curentului prin instalația de legare la pământ de protecție determinându-se cu ajutorul expresiei:

$$I_p = U \cdot \frac{R_c}{(R_{p1} + R_{p2}) \cdot (R_c + R_{l1} + R_{l2})}. \quad (4.28)$$

Tensiunile accidentale maxime, pe cele două instalații de legare la pământ de protecție, se determină, conform legii lui Ohm, cu relații de forma:

$$U_{a1} = R_{p1} \cdot I_p \quad \text{și} \quad U_{a2} = R_{p2} \cdot I_p. \quad (4.29)$$

Conform relațiilor (4.27), se poate observa că în absența legăturii de egalizare a potențialelor,  $R_c$ , suma tensiunilor maxime de atingere este egală cu tensiunea de linie a rețelei. În cazul în care există o astfel de legătură, din relațiile (4.28) și (4.29) se obține expresia:

$$\frac{U_{a1} + U_{a2}}{U} = \frac{R_c}{R_c + R_{l1} + R_{l2}} < 1, \quad (4.30)$$

rezultând că suma tensiunilor de atingere este mai mică decât tensiunea de linie, cu atât mai mică cu cât rezistența conductorului de egalizare a potențialelor este mai mică. Pentru limitarea tensiunii de atingere la valori nepericuloase secțiunea conductorului de egalizare a potențialelor trebuie să fie mai mare decât aceea a conductoarelor active, iar materialul din care este realizat poate avea o rezistivitate mai mică (realizat din cupru, dacă conductoarele active sunt din aluminiu).

Explicația efectului favorabil al prezenței conductoarelor de egalizare a potențialelor este aceea a creșterii căderilor de tensiune pe conductoarele active ale rețelei, în timpul dublei puneri la pământ, simultan cu reducerea căderilor de tensiune pe

## *Electrosecuritate*

instalațiile de protecție prin legare la pământ. Pe lângă aceasta, prezența legăturii de egalizare a potențialelor face să crească intensitatea curentului de defect, până la valori ce pot determina deconectarea rapidă a tronsonului de rețea cu dublă punere la pământ.

Se poate concluziona că în rețelele de tip **IT** legarea la pământ a carcaselor conductoare ale utilajelor și echipamentelor este o metodă de protecție eficientă împotriva electrocutărilor prin atingere indirectă, cu condiția să se ia următoarele măsuri principale:

- carcasele utilajelor electrice să fie legate între ele, prin legături de egalizare a potențialului, rezistența acestora trebuind să fie suficient de mică;
- rezistențele instalațiilor de legare la pământ de protecție trebuie să fie suficient de mici;
- rezistențele instalațiilor de legare la pământ de protecție, ca și a celorlalte legături la instalația de protecție să fie controlate riguros, în mod periodic, la fel ca și rezistențele de izolație față de pământ ale fazelor rețelei;
- sistemele de protecție la supracurenți să fie corect reglate, astfel încât să determine deconectarea rapidă a tronsoanelor de rețea cu dublă punere la pământ.

În mod curent, protecția prin legare la pământ a carcaselor utilajelor se realizează prin intermediul unei rețele generale (comune) de legare la pământ, aceasta constituind măsura de protecție principală împotriva atingerilor indirecte, în rețele de tip **IT**.

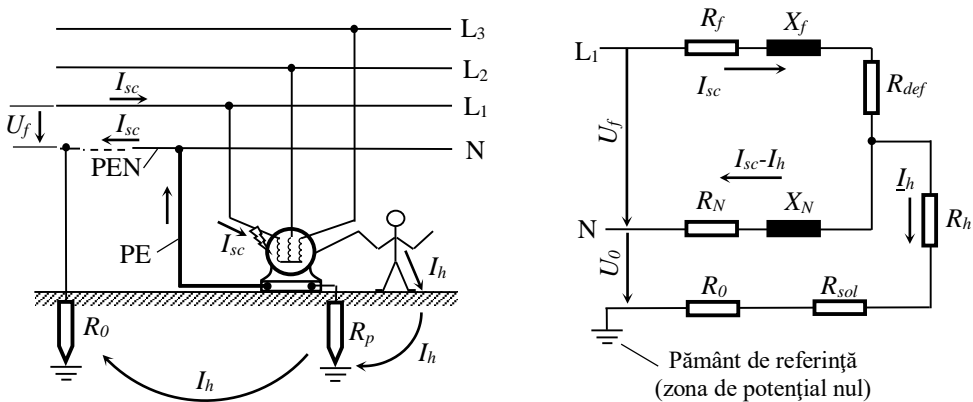
Rețeaua generală de protecție trebuie să fie legată la cel puțin două prize de pământ, situate în puncte diferite. Aceste prize de pământ trebuie să fie realizate în așa fel încât rezistențele de dispersie ale acestora să aibă valori suficient de mici, încât rezistența globală a instalației generale de legare la pământ de protecție să fie mai mică de  $2 \Omega$ , în cazul locurilor de muncă foarte periculoase, așa cum sunt excavațiile subterane, și de  $4 \Omega$ , pentru restul instalațiilor și echipamentelor electrice. Legăturile dintre prizele de pământ și rețeaua comună de legare la pământ de protecție trebuie să se realizeze prin cel puțin două conductoare, rezultând o rezervă de 100 % a conexiunii.

Dacă legarea la pământ, prin intermediul unei rețele generale, este măsura principală de protecție împotriva electrocutării prin atingere indirectă, ca măsură suplimentară de protecție, utilajele electrice, aflate în aceeași clădire sau grupate în aceeași zonă, se conectează și la o instalație de legare la pământ locală, a cărei prize de pământ contribuie la obținerea unei rezistențe mici a instalației generale de legare la pământ. Instalațiile locale de protecție prin legare la pământ își manifestă efectul protector și în cazul în care legătura la rețeaua de protecție comună este întreruptă.

### 4.3. Protecția prin legare la nul

Principiul acestei metode de realizarea a protecției împotriva electrocutării prin atingere indirectă constă în legarea elementelor conductoare ale echipamentelor și utilajelor electrice, elemente care nu fac parte din circuitele curenților de lucru, la nulul legat la pământ al rețelei de alimentare. În acest fel, se crează o cale prestabilită, fermă, de impedanță redusă, pentru circulația curenților de scurtcircuit, fapt ce determină rapida deconectare de la sursă a tronsonului de rețea cu defect.

Schema de principiu a realizării protecției împotriva atingerii indirecte la un utilaj și schema electrică echivalentă în cazul producerii unui defect transversal, la carcasa utilajului, sunt date în figura 4.7, în care  $R_0$  și  $R_p$  reprezintă rezistențele de dispersie ale prizelor de pământ de exploatare și respectiv de protecție. Șuntarea acestor rezistențe, care au valori relativ mari, prin intermediul unui conductor special, care leagă carcasa utilajului la conductorul de nul, transformă defectul transversal într-un scurtcircuit, intensitatea acestuia fiind impusă de tensiunea și puterea sursei și de impedanța circuitului formate din conductoare (de fază și de nul). Această legătură transformă protecția prin legare la pământ în protecție prin legare la nul.



**Fig. 4.7.** Principiul protecției prin legare la nul

Funcționarea protecției prin legare la nul este similară cu aceea a protecției prin legare la pământ asociată cu dirijarea curentului de defect prin rețele de conducte de apă. În prezența instalației de protecție prin legare la nul, intensitatea curentului de scurtcircuit fază-nul este dată de relația:

$$\underline{I}_{sc} = \frac{\underline{U}_f}{R_f + j \cdot X_f + R_N + j \cdot X_N + R_{def}}, \quad (4.31)$$

## Electrosecuritate

în care  $U_f$  este tensiunea de fază,  $R_f$  și  $R_N$  reprezintă rezistențele conductoarelor de fază și de nul,  $X_f$  și  $X_N$  sunt reactanțele celor două tipuri de conductoare, iar  $R_{def}$  este rezistența defectului. Se poate observa că, cel puțin în condițiile defectului metalic, intensitatea curentului de scurtcircuit este mult mai mare decât intensitatea curentului care trece prin corpul uman, aceasta fiind limitată de rezistența solului,  $R_{sol}$ , și, mai ales, de rezistența corpului omenesc, a cărui valoare convențională pentru cazul atingerii indirecte este de  $3000 \Omega$ .

Practic, pentru oricare dintre circuitele uzuale de joasă tensiune, în cea ce privește secțiunea conductoarelor, impedanțele conductoarelor sunt mult mai mici decât rezistența corpului. Totuși, trebuie reținut faptul că protecția prin legare la nul este pe deplin eficientă numai în condițiile dimensionării corecte a conductorului de nul dintre sursa de alimentare și carcasa utilajului. Această secțiune și timpii de acțiune ai protecțiilor de supracurent aferente trebuie să fie bine coordonate, astfel încât curentul de scurtcircuit să depășească de cel puțin 3,5 ori curentul nominal al celei mai apropiate siguranțe fuzibile și cel puțin de 1,5 ori curentul de declanșare rapidă al întrerupătorului automat prin intermediul căruia se alimentează echipamentul la care s-a produs defectul.

În același timp, un curent intens prin circuit, poate determina o tensiune de atingere periculos de mare, la nivelul utilajului cu defect de izolație, sau chiar tensiuni de contact periculoase, de-a lungul conductorului de nul de protecție. În aceste condiții, pentru a diminua riscul producerii unei electrocutări, este necesară rapidă deconectare a circuitului cu defect, într-un interval de timp mai mic de 0,2 secunde de la producerea defectului.

O altă condiție de bază a protecției prin legare la nul constă în legarea corectă a conductorului de nul la pământ. Această legare la pământ are următoarele efecte:

- în cazul producerii unui scurtcircuit, deplasarea punctului neutru al stelei fazorilor tensiunilor se păstrează între anumite limite, astfel încât tensiunile fazelor sănătoase față de pământ, ca și tensiunea dintre conductorul de nul și pământ, să nu depășească valorile admisibile;
- căderea de tensiune pe conductorul de nul, în regim de scurtcircuit, să fie cât mai mică posibil;
- chiar și în cazul întreruperii accidentale a conductorului de nul de protecție, protecția împotriva electrocutării să fie asigurată, în cât mai bună măsură, de legarea la pământ de protecție, utilizată aici ca protecție secundară (de rezervă).

Pentru a realiza aceste efecte, conductorul de nul trebuie legat la pământ, atât în apropierea sursei de alimentare (generatoare sau transformator), cât și la capetele liniilor radiale.

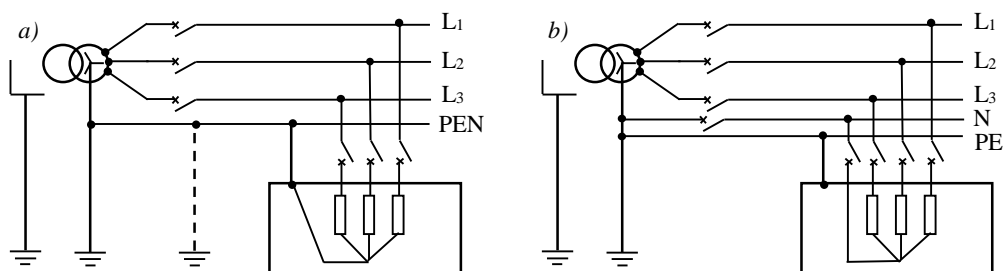
Rezistența echivalentă a tuturor instalațiilor de legare la pământ, la care se leagă nulul, nu trebuie să depășească valoarea de  $2 \Omega$ , iar valoarea rezultantă a acestor

## Electrosecuritate

rezistențe, într-o zonă cu diametrul de 200 m, având în centru postul de transformare care alimentează rețeaua de joasă tensiune, nu trebuie să depășească valoarea de  $5 \Omega$ . Aceeași valoare maximă trebuie să rezulte și prin măsurare, de la capătul liniilor radiale ale rețelei.

Utilizarea legării la nul de protecție transformă schema de alimentare în una de tip **TN**, cu utilizarea în comun a conductorului de nul de lucru și pentru protecție (PEN), caz în care schema de alimentare este de tip **TN-C**, sau cu utilizarea separată a conductorului de nul de lucru (N) și a conductorului de nul de protecție (PE), caz în care schema de alimentare este de tip **TN-S**. Schemele de tip **TN-C** și **TN-S** pot fi utilizate simultan într-o instalație electrică de joasă tensiune, schema devenind de tip **TN-C-S**.

În figurile 4.8.a și 4.8.b sunt date unele detalii referitoare la conductoarele care pot fi întrerupte, prin intermediul aparatelor de comutație sau a siguranțelor fuzibile.



**Fig. 4.8.** Scheme de tip **TN-C** (a) și **TN-S** (b)

### *Aspecte referitoare la funcționarea schemelor TN-C*

În schema **TN-C**, punctul neutru al transformatorului, pe partea de joasă tensiune, este legat direct la pământ (la fel ca și cuva transformatorului), iar conductorul de nul este legat la pământ, în cât mai multe puncte posibil. Masele echipamentelor sunt conectate, ferm, la conductorul de nul, care are dublu rol – conductor de nul de lucru (N) și conductor de protecție (PE), fiind astfel notat PEN. Conductorul PEN se conectează direct la borna de legare la pământ a utilajului, iar o conexiune suplimentară este realizată la neutrul utilajului.

Intensitatea mare a curentului de defect determină perturbații electromagnetice și face ca și riscul de producere a incendiilor sau de deteriorare mecanică a unor elemente componente ale rețelei să fie mare.

Riscul semnificativ de inițiere a incendiilor face ca schema **TN-C** să fie interzisă în mediile cu pericol de incendiu sau de explozie. Această interdicție se justifică astfel: legarea structurilor metalice din construcții (părți intermediare ale clădirilor) la conductorul PEN determină circulația unui curent prin acestea, cu potențial pericol de



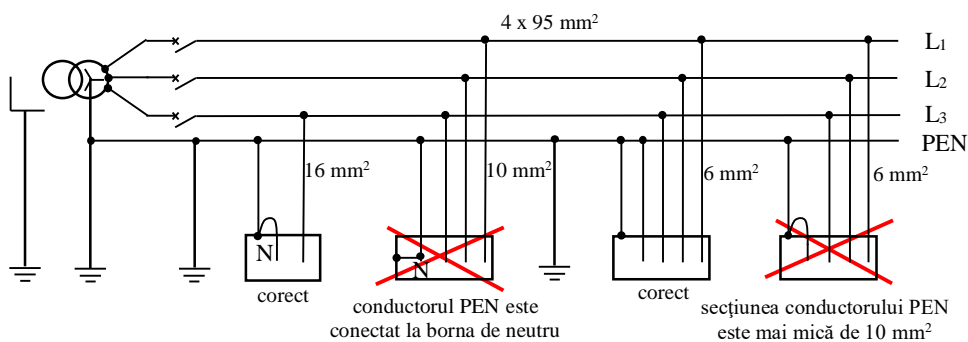
## Electrosecuritate

producere a unor incendii, datorită încălzirii excesive a unor părți conductoare, prin efect Joule. Riscul de incendiu crește, semnificativ, pe durata defectelor, acesta fiind motivul principal al interzicerii utilizării acestui tip de scheme de în medii cu risc de incendiu ridicat.

Deoarece conductorul de protecție și cel de nul este unul și același, PEN, el trebuie să satisfacă condițiile de secțiune minimă impuse ambelor funcții ale sale. În caz de neconcordanță a secțiunilor rezultate pentru fiecare din cele două funcții, este predominant criteriul funcției de electrosecuritate, deci secțiunea rezultată pentru conductorul PE. Utilizarea schemei **TN-C** este interzisă pentru orice rețea sau circuit în care secțiunea conductoarelor de cupru este mai mică de  $10 \text{ mm}^2$  sau a celor de aluminiu este mai mică de  $16 \text{ mm}^2$ . De asemenea, schema **TN-C** este interzisă în cazul utilizării conductoarelor flexibile și nu se admite folosirea în comun, pentru mai multe circuite, a conductorului PEN, cu excepția coloanelor și a barelor tablourilor de distribuție.

Marcarea conductorului PEN se face la fel ca și pentru conductoarele PE, utilizând culorile verde-galben. Aceste culori sunt utilizate fie pentru izolația conductorului, fie pentru tubul colorat în care acesta este introdus, fie prin vopsirea suprafeței acestuia.

Așa cum rezultă și din figura 4.9, pe lângă necesitatea utilizării unor secțiuni minime admisibile pentru conductorul PEN, este interzisă conectarea acestui conductorului la borna de neutru a echipamentului, de unde să se facă un racord și la carcasa acestuia.



**Fig. 4.9.** Conexiuni corecte și greșite ale conductorului PEN în scheme **TN-C**

### *Aspecte referitoare la funcționarea schemelor TN-S*

La fel ca în cazul tuturor protecțiilor prin legare la nul, datorită valorilor mari ale intensității curenților de defect și tensiunilor de atingere, și în schema **TN-S** este obligatorie deconectarea automată a circuitului, la producerea unui defect de izolație, deconectare ce trebuie realizată fie de întrerupătoare automate, fie de siguranțe fuzibile. În cazul schemelor **TN-S** nu pot fi, însă, utilizate dispozitive de curent rezidual pentru

## *Electrosecuritate*

protecția împotriva electrocutării prin atingere indirectă, deoarece un defect de izolație la pământ este, de fapt, un defect între fază și nul, curentul care circulă prin pământ fiind nesemnificativ de mic. În plus, pentru a asigura deconectarea rapidă a rețelei, alegerea întrerupătoarelor automate, de putere, și a siguranțelor fuzibile implică cunoașterea, încă din stadiul de proiectare a rețelei, a structurii și caracteristicilor circuitelor din amonte, o importanță deosebită prezentând cunoașterea impedanței sursei, și din aval de circuitul aflat în stadiul de proiectare. Funcție de acești parametri se reglează elementele și dispozitivele de protecție la supracurenți, orice schimbare a structurii, schemei operative sau parametrilor întregii rețele impunând recalcularea reglajelor.

În schemele **TN-S**, punctul neutru al transformatorului sau al sursei de alimentare este legat la pământ, o singură dată, la limita din partea amonte a instalației. Masele echipamentelor, ca și părțile conductoare intermediare, sunt legate la conductoarele de protecție care, la rândul lor, sunt legate la neutrul transformatorului. Aceste conductoare (PE) sunt separate de conductorul de nul (N) al rețelei și sunt dimensionate să reziste la cel mai mare curent de scurtcircuit, care poate surveni în acea rețea. Conductorul de nul de lucru (neutru) nu se leagă la pământ în toate punctele în care se leagă și conductorul de nul de protecție, ci numai la neutrul sursei, pentru a nu transforma schema într-una de tip **TN-C**, cu dezavantajele care rezidă din circulația unor curenți de sarcină, unul dintre aceste dezavantaje fiind apariția unei căderi de tensiune pe conductoarele de protecție, în regim normal de funcționare. Sunt eliminate, astfel, perturbațiile electromagnetice, în regimul normal de funcționare (nu și în cel de scurtcircuit datorat producerii unor defecte de izolație), din acest punct de vedere schemele **TN-S** comportându-se la fel ca și schemele de tip **TT**.

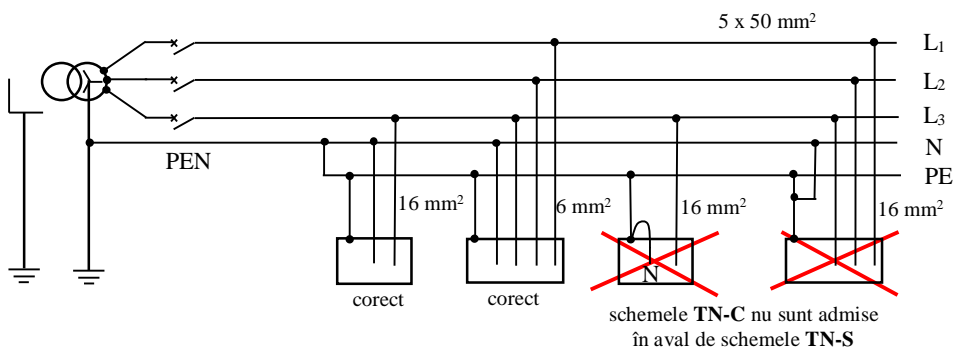
Ca și în schemele **TN-C**, intensitatea curentului de scurtcircuit, datorat defectelor de izolație, este mare, acesta nefiind limitat de rezistențele instalațiilor de legare la pământ. În consecință, acești curenți trebuie să fie întreruși, într-un interval de timp cât mai scurt, prin intermediul unor întrerupătoare automate, efect al funcționării protecției maxime de curent, sau prin intermediul unor siguranțe fuzibile. Spre deosebire de schemele **TN-C**, însă, în cazul schemelor **TN-S** pot fi utilizate, ca dispozitive de protecție împotriva atingerilor indirecte, dispozitive sensibile la curenți reziduali, curenții de defect, în raport cu pământul (carcasele utilajelor legate la nulul de protecție), având alte căi de circulație decât defectele fază-nul de lucru sau defectele între faze. Totuși, pentru a evita deconectările intempestive, aceste relee se reglează la valori relativ mari ale curentului de deconectare (de ordinul a 1 A).

Aspectele referitoare la calculul curenților de deconectare a dispozitivelor de protecție la supracurenți, inclusiv cele legate de puterea sursei, configurația și lungimea rețelei, sunt similare celor din schemele **TN-C**. De asemenea, ca și în cazul schemelor **TN-C**, există riscul producerii unor incendii, în medii inflamabile sau explozive.

## Electrosecuritate

Folosirea schemelor **TN-S** este obligatorie pentru secțiuni ale conductoarelor mai mici de  $10 \text{ mm}^2$ , în cazul conductoarelor de cupru, și de  $16 \text{ mm}^2$ , în cazul conductoarelor de aluminiu. De asemenea, această schemă este obligatorie pentru alimentarea utilajelor mobile.

În cazul în care în aceeași rețea se utilizează și scheme **TN-C** și scheme **TN-S** (scheme **TN-C-S**), schema **TN-C** nu poate fi folosită niciodată în aval de schema **TN-S**, așa cum rezultă și din reprezentarea grafică din figura 4.10. Punctul în care conductorul PE se separă de conductorul PEN (trecerea de la 4 conductoare la 5 conductoare) este, în general, la limita din amonte a porțiunii respective de instalație.



**Fig. 4.10.** Conexiuni corecte și greșite ale conductoarelor într-o schemă **TN-C-S**

În toate rețelele de tip **TN**, datorită legării directe a punctului neutru la pământ, nivelul supratensiunilor de frecvență industrială nu depășește de 1,4 ori valoarea tensiunii de fază (specific *rețelelor cu neutrul efectiv legat la pământ*).

### 4.4. Alte măsuri de protecție

În vederea asigurării unui nivel cât mai ridicat al securității electrice, în exploatarea rețelelor se utilizează adesea și alte metode de protecție în afara legării la pământ sau la nul.

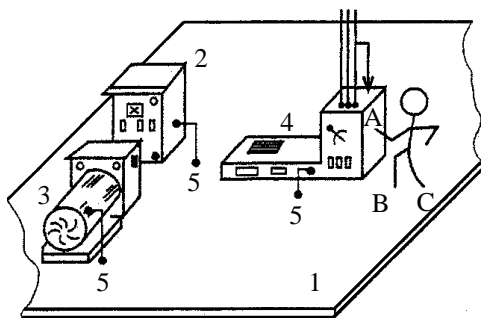
#### 4.4.1. Protecția prin egalizarea potențialelor

În cazul unor soluri cu rezistivitate ridicată, ca și în cazul unor curenți de defect intenși, este greu de păstrat nivelul tensiunilor accidentale sub valorile maxime admisibile. În orice condiții, efectul legării la pământ poate fi îmbunătățit prin egalizarea potențialelor. Acesta este motivul pentru care elementele conductoare care pot intra accidental sub tensiune și acelea care pot fi atinse simultan de către om sunt legate

## Electrosecuritate

galvanic între ele, prin elemente conductoare special destinate acestui scop și care au impedanța proprie cât mai mică.

În mod teoretic, egalizarea potențialelor se poate realiza executând, la suprafața solului, o priza de pământ dintr-o placă metalică ale cărei dimensiuni să fie egale cu acelea ale suprafeței pe care se află masele metalice ce, accidental, ar putea fi puse sub tensiune, toate masele metalice ale echipamentelor urmând a fi legate la această priză de pământ, așa cum rezultă din figura 4.11.



**Fig. 4.11.** Principiul metodei egalizării și dirijării potențialelor:

1 - placă metalică; 2 - dulap metalic cu echipament electric; 3 – carcasă metalică a unui motor; 4 - stelaj metalic al unui utilaj electric; 5 – legături de egalizare a potențialelor.

În cazul unui defect la unul dintre utilaje, stelajul metalic al acestuia este pus sub tensiune și, odată cu el, și placa 1 (figura 4.11), prin intermediul legăturii metalice 5. În acest fel, potențialele punctelor A, B, C vor fi egale. Dacă omul atinge o astfel de masă metalică pusă sub tensiune, tensiunea de atingere (între mână – punctul A și picior – punctul B) și tensiunea de pas (între un picior – punctul B și celălalt picior – punctul C) vor fi nule. Există totuși un anumit pericol numai dacă omul se află pe sol, în afara plăcii care realizează echipotențializarea maselor echipamentelor, și atinge un element metalic aflat în contact cu placa.

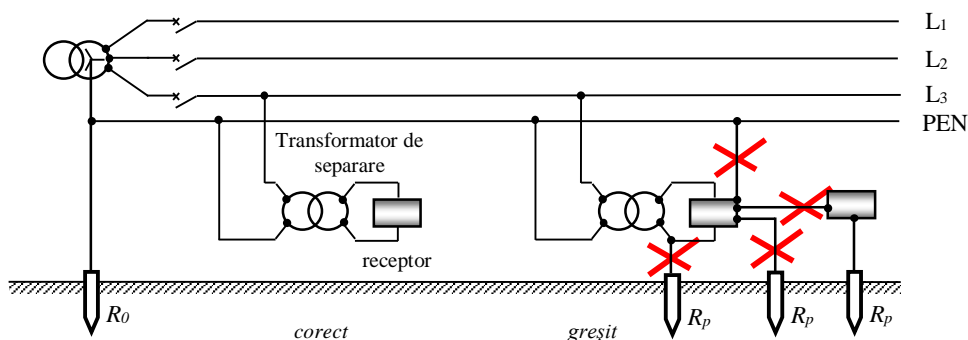
În practică, placa este înlocuită cu o rețea metalică realizată din fier-beton și care este inclusă în placa din beton a construcției. Oricum o asemenea rețea este utilizată din considerente de rezistență și stabilitate mecanică a construcției respective. Potențialul la suprafața plăcii, pe care se află masele metalice ale utilajelor la care există riscul punerii accidentale sub tensiune, nu va mai fi perfect constant și deci nici tensiunile de atingere și de pas nu vor mai fi nule. Valorile acestora depind de distanțele dintre elementele metalice ale structurii ce înlocuiește placa. Dacă aceste distanțe sunt mai mici de 30 cm, atunci tensiunile de atingere și de pas sunt inferioare valorilor ce ar putea determina circulația unor curenți periculoși pentru om.

### 4.4.2. Metoda separării de protecție

Metoda separării de protecție constă în utilizarea unui transformator, în majoritatea situațiilor având raportul de transformare 1:1, pentru alimentarea anumitor categorii de receptoare, precum:

- scule electrice portabile de putere mare, atunci când nu pot fi alimentate cu tensiune redusă (24 sau 40 V);
- receptoare de putere mică, utilizate în medii foarte periculoase – în acest caz transformatorul de separare fiind inclus în receptor;
- utilajele fixe sau mobile și tablourile electrice din laboratoare destinate efectuării de încercări electrice, dacă alte mijloace de protecție împotriva tensiunilor de atingere nu prezintă siguranță suficientă sau sunt dificil de aplicat.

Separarea de protecție este o măsură eficientă în special în rețelele legate la pământ, avantajul cel mai important al separării de protecție fiind acela că pot fi folosite sculele și diferitele echipamente electrice existente, având tensiuni nominale de 120 V ÷ 400 V, fără a li se aduce nici o modificare, intercalând doar un transformator de separație între receptor și rețea, conform schemei de principiu din figura 4.12.



**Fig. 4.12.** Exemple de utilizare corectă și greșită a separării de protecție

*Principiul metodei constă în formarea, în secundarul transformatorului, a unui circuit izolat față de pământ, în condițiile în care în rețelele izolate față de pământ, valoarea intensității curentului ce trece prin om, la atingerea unui element aflat sub tensiune, poate fi limitată la valori nepericuloase dacă se menține rezistența de izolație față de pământ, la o valoare suficient de mare.*

Acest lucru este relativ ușor de realizat în rețele restrânse la un singur circuit, așa cum este cazul majorității circuitelor din secundarul transformatoarelor de separație.

Totuși, circuitul separat (din secundarul transformatorului) nu trebuie să aibă nici un punct comun cu alt circuit, să nu aibă carcasa legată la o instalație de protecție prin legare la nul sau la o instalație de protecție prin legare la pământ sau la carcasa altui

## *Electrosecuritate*

utilaj. Numai în acest fel, se poate beneficia de avantajele schemelor izolate față de pământ.

Pentru ca protecția prin separare să fie eficientă, trebuie respectate următoarele condiții mai importante:

- la un transformator de separație să nu se conecteze decât un singur utilaj;
- izolația rețelei, pe partea de alimentare a utilajului, trebuie să fie astfel realizată încât să fie exclusă posibilitatea producerii unei puneri la pământ;

Dacă sunt respectate condițiile de aplicare a protecției prin separare, nu pot să apară tensiuni periculoase, pe carcasa utilajului protejat, indiferent de defectele de izolație care se pot produce în interiorul acestuia. Pentru a exista pericol de electrocutare, ar trebui să fie îndeplinite simultan o serie de condiții nefavorabile, ceea ce este foarte puțin probabil.

De exemplu, ar trebui să coexiste următoarele condiții nefavorabile:

- faza din interiorul utilajului electric, să aibă un contact cu carcasa acestuia, efect al apariției unui defect intern de izolație;
- să existe un al doilea defect de izolație, în cablul de alimentare a utilajului respectiv, dar pe o fază diferită de aceea care are contact cu carcasa utilajului;
- acest defect să determine apariția unui contact cu pământul sau cu un element conductor, aflat în contact cu pământul.

Coincidența acestor împrejurări nefavorabile este puțin probabilă și poate fi evitată, dacă se efectuează verificarea periodică a izolației cablului de alimentare.

Există pericol de electrocutare și în cazul în care cel de-al doilea defect apare la transformatorul de separație, însă producerea unui asemenea defect are o probabilitate foarte de mică, deoarece transformatoarele de separație sunt construite, cel puțin pe partea secundară, cu izolare suplimentară de protecție (izolație întărită).

Din punct de vedere constructiv, transformatoarele de separare sunt realizate cu înfășurări distincte și izolație întărită, au, în majoritatea situațiilor, raportul de transformare 1:1, fără a depăși, în primar, tensiunea de 1000 V, iar în secundar tensiunea de 400 V. Normele de protecție a muncii din România prevăd că tensiunea maximă admisă în aplicarea metodei separării de protecție este de 400 V.

Condiția principală, pe care trebuie să o îndeplinească transformatoarele de separare, este aceea a executării înfășurărilor pe bobine separate, montate pe brațe separate sau cap la cap, cu o bună izolație suplimentară de protecție, dispusă între bobine. Nu este permis să existe sau să se poată produce, accidental, o legătură galvanică între înfășurarea primară și cea secundară sau între acestea și miezul ori carcasa transformatorului. Mai mult, transformatoarele de separare trebuie astfel construite încât astfel de legături să nu apară nici în cazul unor defecte de izolație sau ruperi ale conductoarelor.

## **Electrosecuritate**

Dacă transformatorul nu este prevăzut cu o izolare suplimentară de protecție și pe înfășurarea primară, atunci este obligatoriu ca miezul și carcasa transformatorului să fie legate la o instalație de protecție prin legare la pământ sau la nul. În acest scop, cablul de alimentare trebuie să aibă un conductor de protecție, iar carcasa transformatorului să fie prevăzută cu borne de conectare a conductorului de la instalația de protecție.

### **4.4.3. Măsurile de protecție prin deconectarea automată a sursei**

Oricare dintre măsurile de protecție prezentate în capitolele precedente au doar un anumit grad de siguranță, iar experiența de exploatare arată că, din diferite motive, acestea nu sunt infailibile.

Printre cauzele care pot conduce la o funcționare inadecvată a măsurii de protecție împotriva atingerilor directe sau indirecte pot fi enumerate următoarele: lipsa mentenanței adecvate, imprudența și neatenția în exploatare, întreținere și reparații, uzura normală și deteriorarea anormală a izolației, producerea unor contacte accidentale, imersia în apă a unor echipamente sau utilaje care nu au carcasa dimensionată corespunzător (indice IP inadecvat pătrunderii umezelii), etc.

În aceste condiții, este necesară utilizarea unui mijloc de protecție suplimentar, cea mai eficientă măsură fiind aceea a deconectării rapide a sursei de alimentare, în mod selectiv, astfel încât să fie deconectat numai echipamentul sau tronsonul de rețea la care a apărut defectul sau la care omul a atins una dintre părțile active.

Deconectarea sursei, ca măsură de electrosecuritate, poate fi comandată, automat, în una dintre următoarele situații:

- la circulația unui curent în raport cu pământul și de relativ mică intensitate, specific producerii unei atingeri directe, în rețeaua supravvegheată;
- la apariția unei tensiuni accidentale periculoasă de mare, în raport cu pământul, la una dintre carcasele utilajelor aflate în rețeaua supravvegheată;
- la producerea unui defect de izolație, într-o rețea de tip **IT**.

Primele două categorii de defecte, care implică deconectarea sursei, nu implică, neapărat, utilizarea unor dispozitive de protecție diferite conceptual. Utilizarea unor dispozitive de mare sensibilitate, care asigură deconectarea rapidă a tronsonului cu defect, de la sursă, monitorizează curentul transversal și determină deconectarea, la apariția unui curent de defect. Funcție de tipul schemei, însă, ele pot deconecta sursa, în mod implicit, la apariția unei tensiuni accidentale.

#### ***A. Deconectarea automată la curenți de defect***

Pentru deconectarea automată a sursei la apariția unor curenți transversali, în raport cu pământul, se utilizează dispozitive bazate pe detectarea curenților reziduali ce

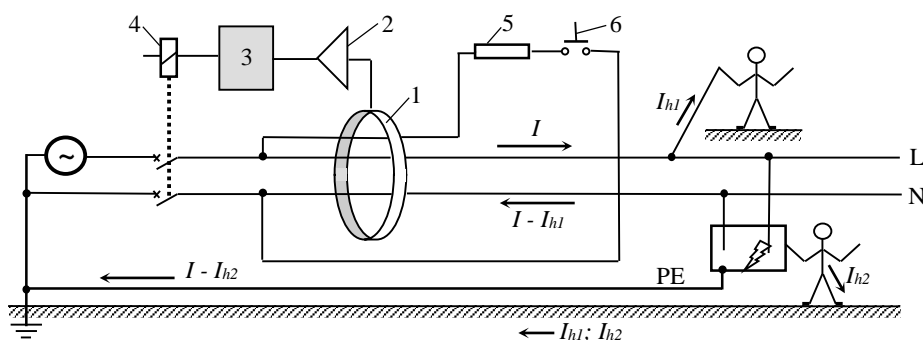
## Electrosecuritate

se scurg la pământ (prin corpul uman sau pe alte căi) și care comandă deconectarea sursei de alimentare, într-un interval de timp suficient de scurt încât să se prevină apariția efectelor ireversibile ale electrocutării.

Dispozitivele care au drept scop măsurarea curentului de scurgere la pământ al unei instalații electrice sau al unei părți din aceasta și de întrerupere a alimentării cu energie a instalației, dacă acest curent devine periculos pentru om sau pentru instalație, poartă denumirea de dispozitive (relee) de curent rezidual sau relee diferențiale.

În principiu, releele diferențiale de curent acționează atunci când detectează un dezechilibru între intensitatea curentului care circulă pe conductoarele de fază și pe conductorul de nul de lucru, în aval de locul său de instalare. Într-un circuit monofazat, dacă intensitatea curentului pe conductorul de nul este mai mică decât aceea a curentului care circulă prin conductorul de fază, înseamnă că între conductorul de fază și pământ s-a intercalat un element de circuit (omul, în cazul atingerii directe, sau un defect de izolație, la carcasa sau direct la pământ) prin care circulă, către sursă, diferența dintre curentul de pe conductorul de fază și cel de pe conductorul de nul de lucru.

Schema electrică de principiu a unui releu diferențial este dată în figura de mai jos:



**Fig. 4.13.** Schema de principiu a unui releu diferențial de curent:

1 – transformator de curent diferențial; 2 – amplificator; 3 – modul logic; 4 – element de acționare; 5 – rezistor de limitare a curentului în circuitul de testare; 6 – buton de testare a funcționării releului.

Atâta timp cât circuitul este echilibrat, intensitatea curentului de pe conductorul activ este, practic, egală cu intensitatea curentului de pe conductorul de nul, micile diferențe dintre cei doi curenți fiind datorate curenților capacitivi fază-pământ și curenților de conducție prin volumul și pe suprafața izolației fază-pământ. În majoritatea rețelelor de joasă tensiune, aceste diferențe sunt mai mici de 5 mA releul trebuind desensibilizat la acționare, pentru aceste valori ale curentului. În cazul unei atingeri directe la unul dintre elementele rețelei, prin corpul uman și prin pământ se închide un curent, astfel încât aplicarea legii I-a a lui Kirchhoff conduce la o relație de forma:



## *Electrosecuritate*

$$I_f = I_N - I_h, \quad (4.32)$$

în care  $I_f$ ,  $I_N$  și  $I_h$  reprezintă intensitatea curentului prin conductorul de fază, prin conductorul de nul și respectiv prin corpul uman (se închide la sursă prin pământ).

Fluxurile magnetice generate de cele două conductoare, în torul feromagnetic al transformatorului diferențial de curent, nu mai sunt egale (ca în cazul simetriei circuitului), fluxul rezultat determinând inducerea unei tensiuni electromotoare, într-o bobină dispusă pe același tor. Tensiunea de la bornele bobinei este amplificată și, apoi, prelucrată într-un modul logic care compară dezechilibrul cu o valoare minimă prestabilită, realizează o anumită temporizare, dacă este cazul, și alimentează elementul de execuție. Astfel, atunci când curentul rezidual detectat de miezul magnetic depășește o valoare prestabilită, numită curent rezidual de declanșare -  $I_{\Delta n}$ , releul declanșează circuitul primar sau, mai frecvent, întrerupătorul de putere asociat lui, prin comanda în tensiune asupra declanșatorului întrerupătorului.

În cazul producerii unui defect de izolație într-o rețea de tip **TN-S**, funcționarea releului este și mai evidentă, o componentă însemnată a curentului închizându-se prin conductorul de nul de protecție, care se află în afara torului transformatorului de curent diferențial.

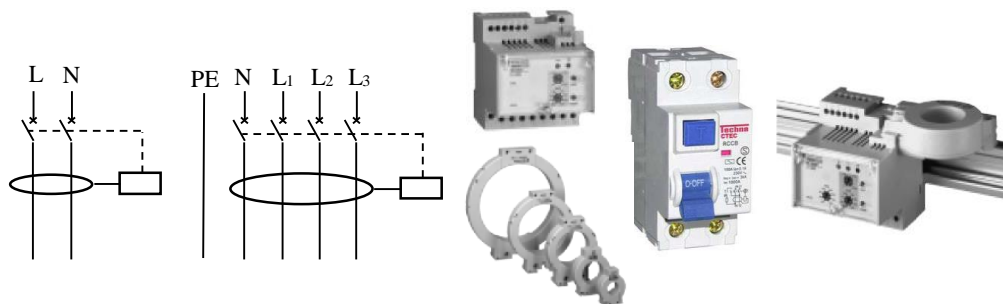
Releele diferențiale de curent rezidual se utilizează numai în rețele de joasă tensiune de curent alternativ ( $U_n < 1000$  V), cu frecvențe de până la 400 Hz și care fac parte din scheme de tip **TT**, **TN-S** și **IT**. Astfel de rele nu funcționează și în scheme de tip **TN-C**, datorită utilizării aceluiași conductor de nul și în scop de exploatare și în scop de protecție (PEN). De asemenea, relele diferențiale de curent rezidual nu asigură protecția în cazul suprasarcinilor și a scurtcircuitelor fază-fază și, în consecință, nu înlocuiesc relele maximale de curent sau siguranțele fuzibile.

Actualmente, se utilizează astfel de rele cu un pol sau doi poli – pentru circuite monofazate, respectiv cu trei și patru poli – pentru circuite trifazate, pentru protecția unei game variate de consumatori casnici și industriali, în general acolo unde condițiile de exploatare sunt susceptibile de a favoriza producerea unei electrocutări.

Releele diferențiale de curent rezidual, a căror simbolizare este dată în figura 4.14, pot avea mai multe funcții, precum:

- protecția suplimentară împotriva atingerii directe;
- protecția împotriva atingerii indirecte;
- protecția împotriva incendiilor;
- protecția surselor la apariția de puneri la pământ în rețeaua alimentată;
- protecția motoarelor.

## Electrosecuritate



**Fig. 4.14.** Simboluri și exemple de tipuri constructive de rele diferențiale de curent

În funcție de valorile curenților reziduali de declanșare relele diferențiale pot fi clasificate în trei categorii:

- **rele de înaltă sensibilitate:**  $I_{\Delta n} = 6 - 10 - 30$  mA – destinate protecției împotriva electrocutării prin atingere directă și indirectă;
- **rele de sensibilitate medie:**  $I_{\Delta n} = 100 - 300 - 500 - 1000$  mA – destinate protecție împotriva incendiilor, datorate circulației curenților de simplă punere la pământ;
- **rele cu sensibilitate redusă:**  $I_{\Delta n} = 3 - 10 - 30$  A – destinate protecției motoarelor.

Un alt criteriu de clasificare al releelor diferențiale este timpul de deconectare. Astfel, în funcție de momentul deconectării, relele diferențiale se pot clasifica în următoarele categorii:

- **rele de uz general (categoria G)** – caracterizate prin următoarele limite minime și maxime ale duratei de acționare:
  - durata minimă – instantaneu sau de maximum 10 ms;
  - durata maximă – 200 ms, pentru  $1 \cdot I_{\Delta n}$ ; 150 ms, pentru  $2 \cdot I_{\Delta n}$ ; 40 ms, pentru  $5 \cdot I_{\Delta n}$ ;
- **rele selective (categoria S)** – utilizate în rețele în care sunt instalate și dispozitive de protecție la supratensiuni și care sunt caracterizate prin următoarele limite minime și maxime ale duratei de acționare:
  - minimă – 130 ms, pentru  $1 \cdot I_{\Delta n}$ ; 60 ms, pentru  $2 \cdot I_{\Delta n}$ ; 50 ms, pentru  $5 \cdot I_{\Delta n}$ ;
  - maximă – 500 ms, pentru  $1 \cdot I_{\Delta n}$ ; 200 ms, pentru  $2 \cdot I_{\Delta n}$ ; 150 ms, pentru  $5 \cdot I_{\Delta n}$ .

## *Electrosecuritate*

### *B. Deconectarea la micșorarea rezistenței de izolație în raport cu pământul*

Atingerea directă unipolară în rețelele de tip **IT** nu este periculoasă, dacă rezistența de izolație față de pământ este menținută în anumite limite. Producerea simplelor puneri la pământ nu determină tensiuni accidentale periculoase, de asemenea, dacă rezistența de izolație față de pământ a rețelei este suficient de mare. Rezultă, deci, că rețelele de tip **IT** pot fi utilizate în locuri cu grad mare de pericol de electrocutare, însă numai în condițiile în care starea izolației fazelor, în raport cu pământul, este permanent monitorizată, scăderea rezistenței de izolație, sub anumite limite, determinând fie o semnalizare de atenționare, fie deconectarea alimentării cu energie electrică. În acest fel, sunt evitate, în bună măsură, și dublele puneri la pământ, situații cu risc semnificativ de electrocutare.

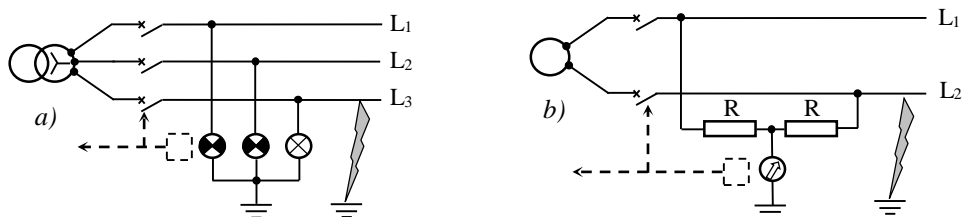
În rețelele de tip **TT** și **TN-S**, dacă protecția la atingeri indirecte este realizată cu relee diferențiale de curent rezidual performante, există posibilitatea reglării acestora la un prag de alarmare, caz în care releul avertizează asupra depășirii unui anumit prag de degradare a izolației, încă din stadiul în care acesta nu este critic, permițând, astfel, o intervenție preventivă. Pragul de declanșare a alarmei este configurat de către releu, în mod automat, la jumătatea din valoarea reglată a curentului rezidual de declanșare. În rețelele de tip **IT**, acest mod implicit de monitorizare a stării izolației nu este posibil, deoarece relele diferențiale de curent rezidual utilizate, în acest tip de rețele, sunt relee cu sensibilitate redusă, destinate funcționării la scurtcircuite bifazate cu pământ.

Datorită importanței pe care o are monitorizarea izolației față de pământ a rețelilor **IT**, standardele internaționale prevăd utilizarea dispozitivelor de monitorizare rezistenței de izolație și de localizare a primei puneri la pământ.

Principial, primele dispozitive de monitorizare a stării izolației aveau scheme simple, conform reprezentării grafice din figura 4.15. Astfel, în cazul rețelilor trifazate (figura 4.15.a), schema analizează fenomenul de micșorare a tensiunii pe faza cu simplă punere la pământ, fenomen însoțit de creșterea, importantă, a tensiunii pe fazele sănătoase. În regim normal de funcționare, toate cele trei lămpi emit fluxuri luminoase de aceeași intensitate. La producerea unei simple puneri la pământ, intensitatea fluxului luminos al lămpii de pe faza cu defect se reduce, simultan cu creșterea fluxului luminos al lămpilor de pe fazele sănătoase, care ajunge la maximum de intensitate atunci când defectul este metalic.

Cu toate că sistemul nu este foarte sensibil, asocierea lui cu dispozitive de alarmare la producerea unor defecte de impedanță mare, permite luarea unor măsuri anticipate de deconectare a diferitelor tronsoane ale rețelei, în vederea evitării producerii simplei puneri la pământ metalice.

## Electrosecuritate

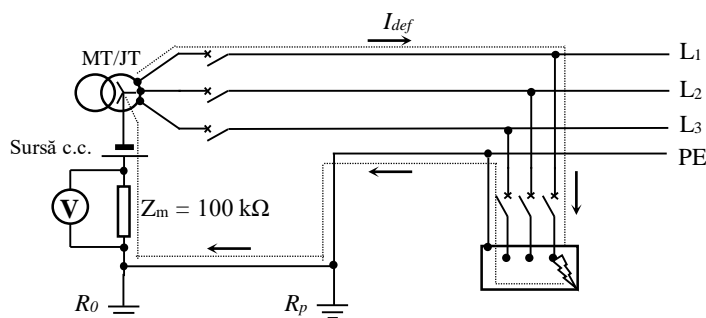


**Fig. 4.15.** Schemele de principiu a dispozitivelor de monitorizare a stării izolației față de pământ a schemelor de alimentare de tip IT: a) - schemă utilizată în rețele trifazate de curent alternativ; b) - schemă utilizată în rețele simple de curent alternativ sau continuu

Schema utilizată în rețelele simple, bipolare de curent continuu sau monofazate de curent alternativ, are la bază un divizor de tensiune rezistiv (figura 4.15.b). Orice dezechilibru, în ceea ce privește impedanța sau rezistența fazelor în raport cu pământul, este sesizat de aparatul de măsură tensiune. Un asemenea dispozitiv nu poate fi suficient de sensibil încât să poată fi utilizat și pentru localizarea defectelor.

O soluție tehnică care permite monitorizarea destul de precisă a stării izolației rețelelor trifazate, pe baza căreia sunt construite multe dintre sistemele aflate în funcțiune, este aceea a injectării unui curent continuu, pe un circuit instalat între neutrul sursei și pământ, așa cum se poate observa din figura 4.16.

Această metodă permite determinarea, precisă, a rezistenței de izolație (măsură efectuată în curent continuu), este simplă, iar dispozitivele sunt fiabile. Pe de altă parte, în rețelele în care o parte dintre receptoare sunt echipate cu redresoare, fără a fi realizată o izolare galvanică în raport cu rețeaua, sistemul de măsură poate fi perturbat de producerea unui defect, pe partea de curent continuu. În plus, această metodă nu poate fi utilizată pentru localizarea unui defect de izolație.

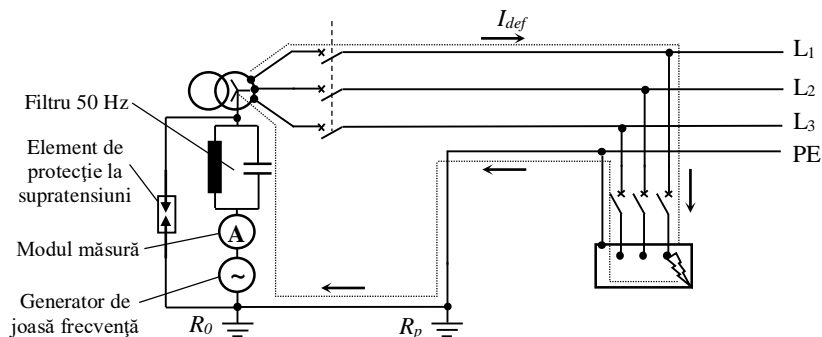


**Fig. 4.16.** Principiul monitorizării izolației transversale a rețelelor de tip IT trifazate prin injectarea unui curent continuu

Dezavantajele metodei active de monitorizare prin injectarea curentului continuu au condus la identificarea de noi soluții, metoda care dă, actualmente, cele mai bune

## Electrosecuritate

rezultate fiind aceea a injectării unui semnal alternativ, de joasă frecvență, între neutrul sursei și pământ, conform figurii 4.17.



**Fig. 4.17.** Principiul monitorizării izolației rețelelor IT cu semnale de joasă frecvență

Ca și în cazul precedent, nu se modifică tipul schemei de alimentare, deoarece impedanța acestui circuit este foarte mare.

Semnalul injectat este unul alternativ sinusoidal, cu frecvența de cel puțin 2,5 Hz, sub care senzorii magnetici sunt mai dificil de realizat, sau cel mult 10 Hz. Unele sisteme folosesc semnale dreptunghiulare, cu frecvența apropiată de 1 Hz. Circuitul de măsură nu este perturbat de semnale de frecvență industrială, provenite din rețea, datorită utilizării unor filtre acordate pe frecvența de 50 Hz.

Valorile minime ale rezistenței dintre fiecare fază și pământ, la care relele deconectează sursa de alimentare, sunt funcție de tensiunea nominală a rețelei, conform datelor din tabelul 4.1.

**Tabelul 4.1.** Valori minime ale rezistenței de izolație pentru pragul de deconectare

Tensiunea nominală a rețelei [V]	Rezistența de izolație [MΩ]
Rețele cu tensiune foarte redusă de siguranță	0,25
Rețele cu tensiuni nominale de linie mai mici de 500 V	0,50
Rețele cu tensiuni nominale de linie mai mari de 500 V	1,00

În cazul în care sistemul este organizat și pentru monitorizarea rețelelor, în sensul localizării preventive a defectelor (defecte înalt rezistive), un prim nivel de atenționare trebuie setat la o valoare a rezistenței de izolație de ordinul a 10 kΩ, adaptat, însă, funcție de caracteristicile constructive și funcționale ale rețelei. Evident, cu cât rețeaua are o extindere mai mică, cu atât primul prag de atenționare poate fi reglat la o valoare mai mare a rezistenței de izolație.

Producerea unei simple puneri la pământ, pe cât posibil chiar din stadiul incipient de degradare a izolației, trebuie detectată, iar defectul localizat, cu cât mai mare precizie,

