

DIMENSIONAREA INSTALAȚIEI DE PROTECȚIE ÎMPOTRIVA TENSIUNILOR DE ATINGERE PERICULOASE

Efectele fiziologice ale trecerii curentului electric prin organismul uman depind de numeroși factori, care nu pot fi influențați (tensiune, frecvență etc.) sau prevăzuți (factori de natură personală, circuitul curentului prin om etc). Totodată, efectele fiziologice depind de durata trecerii curentului prin corpul omului.

În figura 1 sunt expuse trei situații de electrocutare tipice și anume atingerea directă (a), atingerea indirectă (b) și (c).

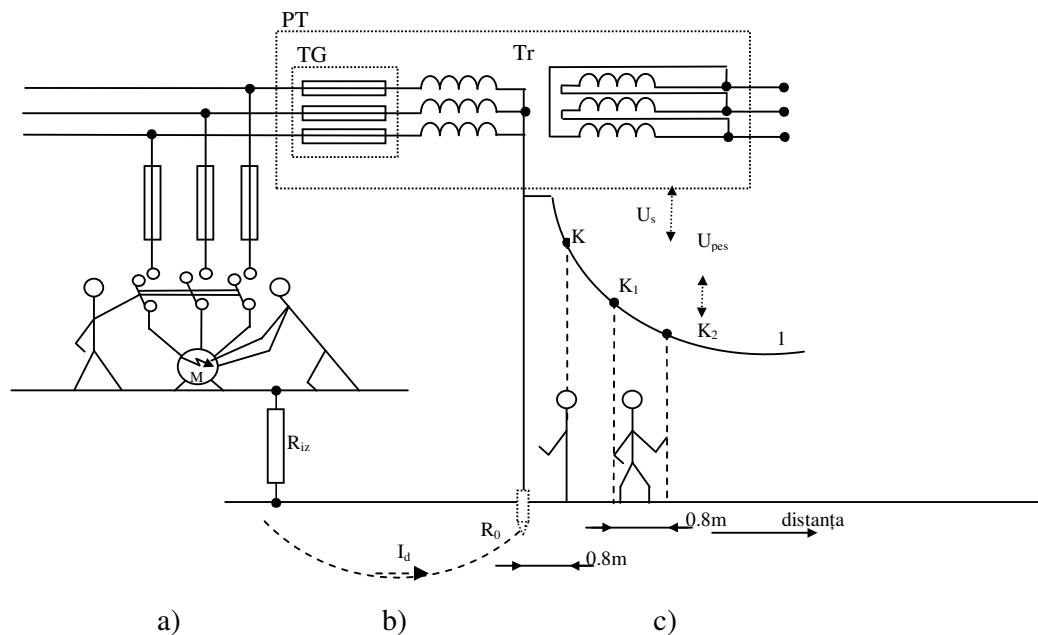


Fig. 1 Posibilități de apariție a electrocutărilor: a. atingere directă
b. atingere indirectă c. Tensiune de pas; SE- sistem electroenergetic;
TG- tablou general; TD- tablou de distribuție;
1- curba distribuției potențialelor în jurul prizei de pământ

Pericolul de electrocutare

Atunci când corpul omenesc este supus unei diferențe de potențial între diverse puncte ale sale prin om se va închide un curent ale cărui efecte pot fi variate, cel mai grav fiind moartea.

Corpul omenesc poate fi comparat cu un condensator biologic deoarece structura acestuia este astfel realizată încât prin organism circulă biocurenți iar între diverse puncte de pe corp există diferența de potențial.

Celula se comportă într-un câmp electromagnetic ca un conductor și concomitent ea e generatoare de t.e.m.

Celula în repaus prezintă o diferență de potențial între interior și exterior.

Fenomenele electrice se datorează mecanismelor energetice ce rezultă în urma metabolismului celular și a reacțiilor chimice care dau naștere diferențelor de potențial. Sursele electrice se găsesc în medii conductoare electrolitice în care sarcinile se deplasează prin transfer de

ioni. În aceste condiții celula umană se comportă ca un dipol electric ce poate fi orientat în câmp electric.

Proprietățile electrice ale materiei vii depind de tipul de legături atomice și moleculare.

Interacțiunile organismului cu mediul și funcțiile sale interne depind de fenomenele electromagnetice. Câmpurile electrice exterioare influențează comportarea organismelor vii.

Trecerea curentului electric printr-un conductor electrobiologic (corpul omenesc) este însoțită de efecte:

- calorice (arsuri)
- mecanice (ruperea țesuturilor, deprecierea vaselor)
- chimice (electroliza sângelui)
- biologice (alterarea proceselor electrice caracteristice materiei vii)

Urmările acestor efecte pot fi:

- electrocutarea (șoc electric)
- arsuri
- metalizarea pielii

Aceste modificări se produc atunci când curentul prin om depășește valoarea tolerată de organism.

Sensibilitatea organismului depinde de la o persoană la alta, omul putând suporta fără urmări mai puțin de 50 mA c.c. și mai puțin de 10 mA c.a.. Copiii și femeile sunt în general mai sensibile decât bărbații.

Electrocutarea poate produce moartea prin alterarea funcțiilor principale ale organismului:

- paralizarea respirației datorită lezării centrilor respiratorii
- prin compromiterea activității inimii datorată perturbațiilor produse la trecerea curentului (fibrilație)
- prin afectarea în ansamblu a sistemului nervos.

Experiențele privind efectele electrocutării au fost făcute pe animale și nu pe om, dar există unele diferențe comportamentale și de structură astfel încât concluziile toate pot fi luate ca ipoteze. Omul se comportă în acest caz ca un sistem de reglare automată închis în care inima și sistemul respirator funcționează reciproc, deci cedarea unuia duce la căderea organismului. Încetarea respirației se datorează contractării mușchilor care ajută la respirație sub acțiunea c.c. Valoarea curentului periculos depinde de componenta maximă I_{max} și nu de cea eficace precum și de viteza de variație a curentului $\frac{di}{dt}$. Inima se poate considera ca un dipol electric care produce câmp electric și care se excită singură, adică apar contracțiile și destinderile. Atunci când valoarea curentului, a câmpului electric, au depășit o anumită mărime inima se contractă (se produce fibrilația mușchilor inimii) nemaipompând sânge în organism. Efectele electrocutării depind și de momentul funcțional al inimii. Fibrilația înseamnă funcționarea dezordonată a fibrelor mușchiului inimii care duce la încetarea pomparei sângelui și deci la moartea organismului în 3÷5 min.

Efectele electrocutării depind de frecvența c.c., cele mai periculoase valori fiind 50÷100 Hz și de valoarea tensiunii, efectele cele mai grele fiind pentru $U_{\approx} > 70$, $U_{\approx} > 120$ V.

Conductoarele electrobiologice sunt caracterizate ca orice tip de conductor de rezistență și de capacitate. În cazul organismelor vii nu s-au sesizat fenomene de autoinducție.

$$Z_h = \sqrt{R_h^2 + \frac{1}{\omega^2 C_h^2}}$$

Organismul uman e caracterizat de $tg \varphi = \frac{1}{R \omega C}$

φ - unghi de impedanță al organismului

φ = pentru bărbați 0,1555

φ = pentru femei 0,1144

φ = pentru copii 0,08

Acest unghi de impedanță al organismului permite în unele cazuri depistarea unor boli.

R_h = rezistența organismului uman, se compune din rezistența internă a organismului și rezistența suprafeței corpului uman (pielei).

Rezistența totală a omului depinde de:

- grosimea epidermei
- poziția locului în care se măsoară pe corp
- condițiile externe: temperatură, umiditate
- starea psihică și fizică a organismului
- durata cât este aplicată tensiunea pentru măsurarea acestei rezistențe
- punctele impuse diferenței de potențial
- presiunea de contact

Valoarea rezistenței omului = $1000 \div 10^6 \Omega$ – în funcție de aspectele prezentate anterior.

În calculele de dimensionare a instalațiilor de protecție împotriva tensiunilor periculoase valoarea rezistenței omului se ia astfel:

- 1000 Ω – pentru atingere directă
- 3000 Ω - pentru atingere indirectă

CAZURI DE ELECTROCUTARE

În cazul în care omul atinge simultan două corpuri bune conductoare de electricitate între care există o diferență de potențial electric (mai mare de 40V), de exemplu două conductoare neizolate, corpul său va fi străbătut de un curent electric, accident care se numește *electrocutare*. Deci electrocutarea sau *șocul electric* se datorează atingerii unor elemente conductoare aflate sub tensiune.

Electrocutarea poate avea loc prin *atingeri directe* sau *indirecte*. Clasificarea în atingeri directe și indirecte este justificată de modul de apărare al omului și de mijloacele de protecție folosite.

➤ Electrocutarea prin atingere directă

Atingerea directă constă în atingerea elementelor metalice neizolate sau cu izolația defectă ale unei instalații electrice care se află în mod normal sub tensiune (figura 2).

Astfel de situații apar la:

- atingerea a două elemente, din care cel puțin unul este în mod normal sub tensiune și nu este izolat sau în carcasă;
- deșurubarea cu mâna neizolată a soclului unui bec căruia i s-a desprins balonul;
- atingerea unor borne (bare) ale tablourilor de distribuție sau ale cuțitelor unui întrerupător cu pârghie fără apărătoare;
- atingerea unor conductoare neizolate ale unei linii electrice aeriene sau ale unui conductor rupt și căzut la pământ;
- atingerea unor conductoare scoase de sub tensiune, care însă au rămas încărcate cu sarcini electrice, datorită capacității lor (de exemplu condensatoare care nu au fost descărcate după deconectare);
- atingerea unui conductor sau a unei borne într-o instalație, în care, chiar după întrerupere, a rămas închis un contact (dacă întrerupătorul sau separatorul sunt defecte);
- folosirea unor aparate sau lămpi portative neprotejate sau defecte, la tensiuni neadmise.

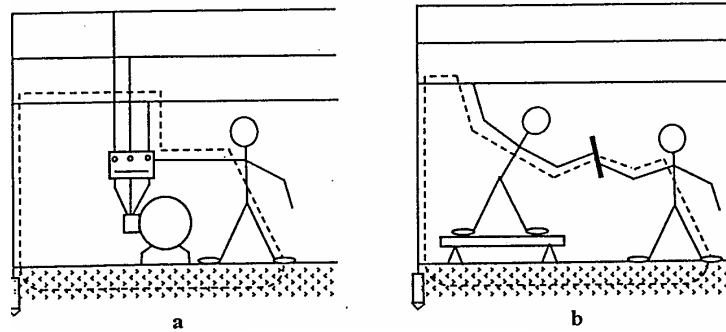


Figura 2

Cazuri de electrocutare prin atingere directă

a. Rețea monofazată izolată față de pământ

Exemple de astfel de rețele sunt: căile de curent de alimentare din secundarele unor transformatoare de rețea, rețele de curent continuu alimentate de la redresoare, etc. Cazul cel mai frecvent de electrocutare constă în atingerea unei faze și a pământului (sau un obiect bun conductor legat la pământ) – figura 3.

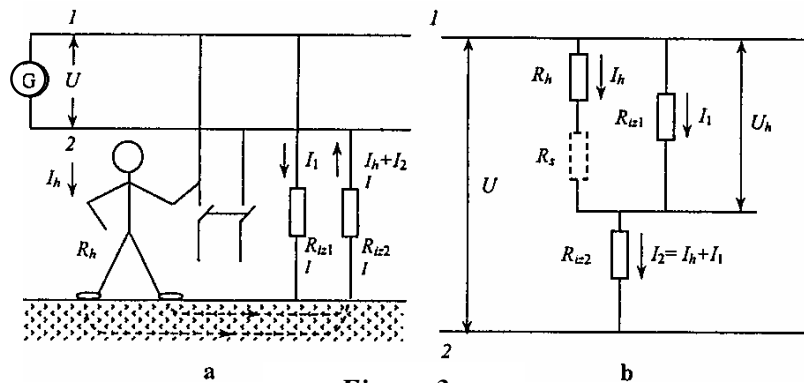


Figura 3

Din schema echivalentă rezultă:

$$I_2 = I_h + I_1 = \frac{U}{\frac{R_h \cdot R_{iz1}}{R_h + R_{iz1}} + R_{iz2}}$$

Considerând $R_{iz1} = R_{iz2} = R_{iz}$ avem

$$U_h = (I_h + I_1) \cdot \frac{R_h \cdot R_{iz}}{R_h + R_{iz}} = \frac{U}{\frac{R_h \cdot R_{iz}}{R_h + R_{iz}} + R_{iz}} \cdot \frac{R_h \cdot R_{iz}}{R_h + R_{iz}},$$

iar valoarea curentului prin corp în lipsa oricărei rezistențe suplimentare între om și pământ sau om și linie este:

$$I_h = \frac{U}{2 \cdot R_h + R_{iz}}$$

Desigur dacă omul este așezat pe un covor izolant, are mănuși sau cizme electroizolante, în serie cu R_h apare rezistența suplimentară R_s care limitează curentul la valoarea:

$$I_h' = \frac{U}{2 \cdot (R_h + R_s) + R_{iz}}$$

b. Rețea trifazată cu neutrul izolat față de pământ

În figura 4 este arătat cazul de electrocutare prin atingere directă a fazei unei rețele trifazate cu nulul izolat față de pământ. Rețeaua electrică este alimentată la secundarul unui transformator de 6/0,4kV. Dacă neutrul este izolat față de pământ, între fazele rețelei electrice și pământ trebuie luată în considerare rezistența de izolație R_{iz} . Aceasta este formată din rezistența electrică a straturilor izolante din jurul conductorului, din izolația tubului de protecție etc.

Ea este uniform distribuită pe toată lungimea conductorului de fază al rețelei, dar pentru simplificare, se reprezintă ca o rezistență concentrată, plasată în apropierea transformatorului. Valoarea ei este foarte mare, dar limitată (nu este infinită).

Atingerea unei faze a rețelei trebuie înțeleasă ca atingerea oricărui conductor de fază al unui receptor. Omul se va găsi cu una din mâini la potențialul fazei pe care a atins-o și cu picioarele pe o pardoseală bună conductoare de electricitate, aflată în contact direct cu pământul (figura 4).

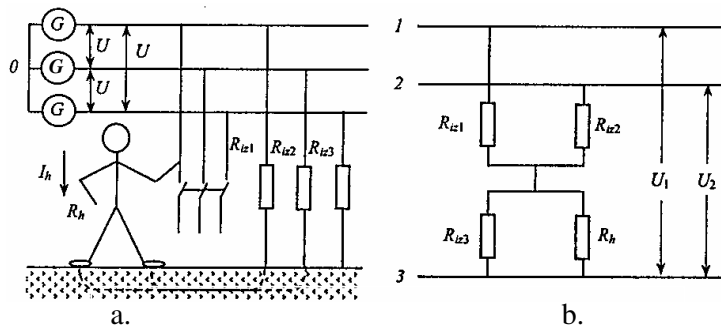


Figura 4

În cazul în care omul atinge una din faze se poate observa că se produce electrocutarea deoarece curentul se închide prin faza atinsă, om, sol, rezistențele de izolație dintre sol și fazele neatinse.

Dacă rețeaua este echilibrată, tensiunea nul-pământ este zero: la o atingere cu una din faze rețeaua se dezechilibrează, între nul și pământ apare o tensiune, U_0 .

Din figura 4, considerând $R_{iz1} = R_{iz2} = R_{iz3} = R_{iz}$ și U tensiunea de linie (dintre faze), rezultă curentul prin om:

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

Dacă izolația unei faze este deteriorată (de exemplu $R_{iz1} = 0$) atunci atingerea altei faze este echivalentă cu o atingere bifazată și

$$I_h = \frac{U}{R_h}$$

c. Rețea trifazată cu neutrul legat la pământ

Marea majoritate a utilajelor sunt alimentate de la rețele trifazate legate la pământ deoarece acestea au numeroase avantaje tehnico-economice. La fel sunt și rețelele de distribuție în locuințe, instituții de învățământ, etc., toate făcând parte din rețelele trifazate de distribuție, cu neutrul legat la pământ.

În figura 5 este reprezentată situația unei electrocutări prin atingerea fazei unei rețele trifazate cu neutrul legat la pământ.

Rezistențele de izolație există între fazele rețelei și pământ și atunci când rețeaua are neutrul legat la pământ, însă nu se iau în considerare datorită valorilor mari pe care le au în comparație cu rezistența conductorului de legare la pământ.

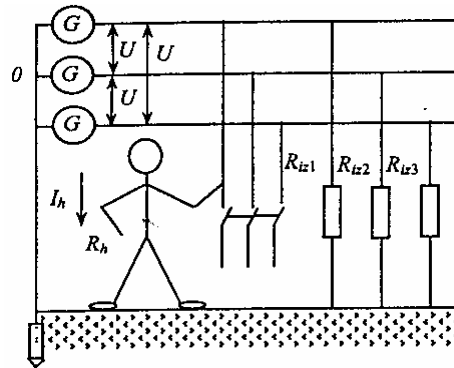


Figura 5

Neutru este pus la pământ printr-o "priză" (un conductor îngropat în sol) a cărei rezistență, R_0 este mică (conform normelor $R_0 \leq 4\Omega$).

În acest caz, când neutru este legat la pământ, se închide un circuit electric prin faza atinsă, om, sol, (care este bun conducător de electricitate) și neutru legat la pământ al transformatorului. Același circuit electric se stabilește și în cazul în care omul stă cu picioarele pe o pardoseală rău conductoare de electricitate, dar cu o mână atinge o fază a rețelei și cu cealaltă peretele construcției sau un alt element bun conductor de electricitate, aflat în contact cu solul.

În primul caz, curentul electric trece prin om pe traseul mână-picior, în al doilea caz pe traseul mână-mână. În ambele cazuri efectul curentului electric este același (aceeași valoare a curentului).

Din figura 5 rezultă:

$$I_h = \frac{U_f}{R_h + R_0}; R_0 \ll R_h; U_f = \frac{U}{\sqrt{3}}$$

deci

$$I_h = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot R_h}$$

Se observă că în acest caz rezistența de izolație a căilor de curent nu are nici un rol protector. Nu înseamnă că rezistența de izolație nu are nici o importanță. Dimpotrivă are un rol important contra atingerilor indirecte, izolând căile de curent de carcasi, acoperișuri etc.

Până acum nu s-au luat în considerație capacitățile liniilor față de pământ, neglijare justificată în cazul liniilor aeriene de curent continuu și a celor de curent alternativ de joasă tensiune, la care capacitățile sunt într-adevăr foarte mici. În cazul liniilor aeriene de înaltă tensiune (de la 25 ÷ 30 kV în sus) precum și a celor în cablu capacitățile sunt mari, astfel încât curenții capacitivi pot depăși cu mult valorile periculoase. În concluzie, când se lucrează cu linii în cablu sau de înaltă tensiune trebuie luate precauții speciale.

➤ Electrocutarea prin atingere indirectă

Atingerea indirectă constă în atingerea unor elemente metalice ale instalațiilor, elemente care nu fac parte din circuitul electric și deci care, în mod normal, nu trebuie să fie sub tensiune, dar care, datorită deteriorării izolației, se află sub tensiune în mod accidental.

Electrocutările prin atingere indirectă se pot produce în următoarele împrejurări (figura 6):

- atingerea concomitentă a unui obiect intrat accidental sub tensiune cum ar fi:
 - carcasi ale aparatelor sau mașinilor (figura 6.a);
 - cutii metalice ale tablourilor electrice, îngrădiri metalice, elemente de calorifer, stelaje metalice, conducte metalice (figura 6.b);
 - stâlpi metalici sau de beton armat etc. și a pământului sau a unui obiect în contact cu pământul (figura 6.c);
 - atingerea concomitentă a carcasei unui echipament defect neracordat la o instalație de protecție și a unui obiect în contact cu pământul, chiar dacă executantul este izolat față de pământ;
 - atingerea concomitentă a două echipamente care au defecțiuni diferite de izolație (pe faze diferite), chiar dacă muncitorul este izolat de pământ (figura 6.d);
 - atingerea concomitentă a carcasei unei mașini intrată accidental sub tensiune și care nu este legată la pământ și a carcasei altei mașini care este legată la pământ;

- atingerea simultană a două puncte de pe sol sau de pe pardoseală, din apropierea unei scurgeri de curent și care se află la potențiale diferite (tensiune de pas); astfel de situații sunt posibile în apropierea unei prize de pământ (figura 7) sau a unui conductor electric neizolat căzut pe pământ.

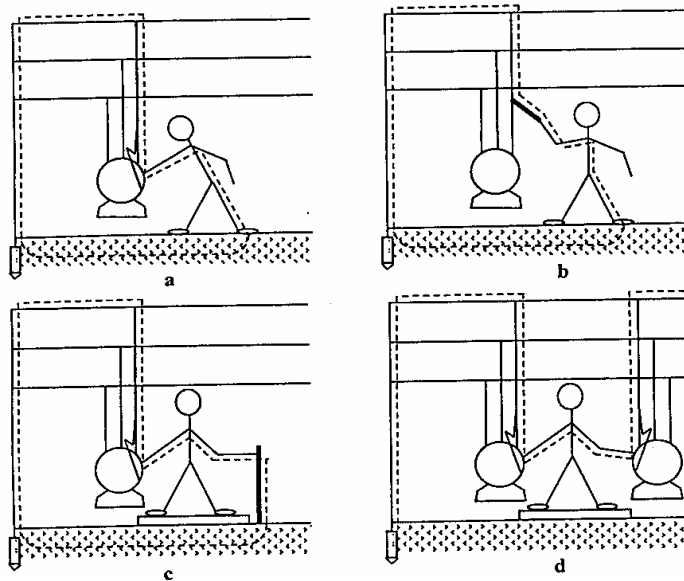


Figura 6

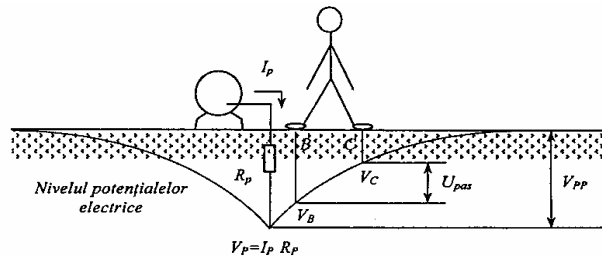


Figura 7

Principalele cauze ale accidentelor prin atingere indirectă sunt următoarele:

- deteriorarea izolației dintre conductor și carcasă sau căderea unui conductor pe carcasa unei mașini;
- producerea unui arc electric între un element aflat sub tensiune și o carcasă, o îngrădire, un stelaj;
- lipsa sau deteriorarea instalației de protecție (deteriorarea conductoarelor de legare la pământ sau la nul, a prizei de pământ etc.);
- legarea greșită, în aceeași instalație, a unor mașini la priza de pământ iar a altora la conductorul de nul;
- utilizarea unor siguranțe supradimensionate care, în cazul unei deteriorări a izolației, nu separă instalația devenită periculoasă;
- blocarea sau scurtcircuitarea întrerupătoarelor automate, ceea ce împiedică intrarea acestora în funcțiune, pentru a deconecta circuite defecte.

Valoarea curentului prin corpul omenesc, în cazul atingerii unor elemente sub tensiune, depinde printre altele și de tipul rețelei electrice la care este conectat elementul.

Trebuie avut în vedere că electrocutarea este posibilă numai în cazul atingerii concomitente a două elemente cu potențiale diferite.

Cazul cel mai defavorabil, pentru o rețea de alimentare dată, îl constituie atingerea a două elemente care fac parte din circuitele curenților de lucru. În acest caz tensiunea la care este supus corpul este chiar tensiunea de lucru, iar în circuit se află numai rezistența corpului.

În cazul atingerii unui singur pol al rețelei, omul este supus la tensiunea față de pământ la locul accidentului. În acest caz tensiunea este mai mică, și în plus deseori apar rezistențe suplimentare care limitează curentul prin corp.

Valoarea și importanța acestei rezistențe depinde de:

- modul de realizare a contactului dintre om și pământ;
- tipul de rețea electrică.

Contactul cu pământul poate avea loc direct sau prin intermediul unor elemente izolate (covoare, plăci, cizme, etc.); în ultimul caz rezistența este mai mare sau mai mică.

În ce privește tipul de rețea se deosebesc două cazuri: rețele de curent continuu în care nu intervin capacități și rețele de curent alternativ în care intervin capacități, deseori importante față de pământ; în majoritatea cazurilor capacitatea este suficient de mică și se poate neglija.

➤ Cazuri de electrocutare prin atingere indirectă

Părțile metalice care, în mod normal, nu se află sub tensiune, dar care din cauza unui defect de izolație pot să ajungă sub tensiune sunt: carcasa motoarelor electrice, batiurile mașinilor-unelte, stelajele tablourilor electrice, stelajele de susținere ale unor aparate electrice etc.

Omul atinge în mod frecvent aceste părți metalice în timpul exploatării instalațiilor respective; cât timp nu a avut loc un defect de izolație care să le pună sub tensiune (la potențialul unei faze) nu există nici un pericol.

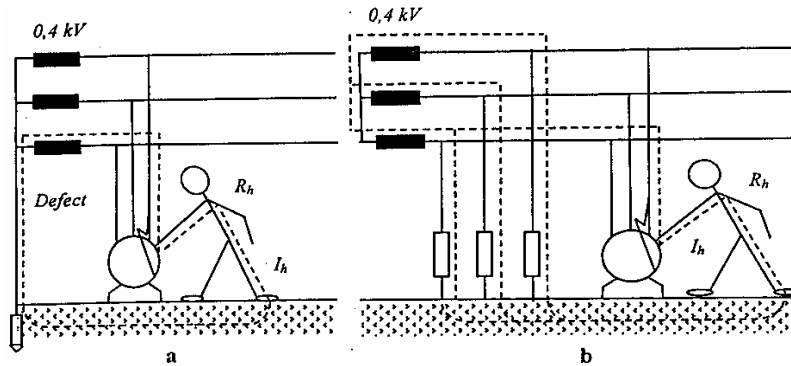


Figura 8

Dacă defectul s-a produs, la atingerea acestora se produce electrocutarea atât în cazul rețelei legate la pământ (figura 8.a), cât și a rețelelor izolate față de pământ (figura 8.b). În primul caz se stabilește un curent electric prin circuitul: faza defectă, carcasa motorului, corpul omului, sol și neutrul rețelei. În al doilea caz curentul electric se stabilește prin circuitul: fază defectă, carcasa motorului, corpul omului, sol, rezistențele de izolație ale fazelor nedefectate și neutrul rețelei.

Electrocutarea mai poate surveni atunci când picioarele omului se află la potențiale diferite. Astfel de situații se pot ivi în apropierea unei prize de pământ, sau în apropierea locului de contact cu solul al unui conductor de fază (situație care poartă numele de punere la pământ a conductorului) – (figura 9).

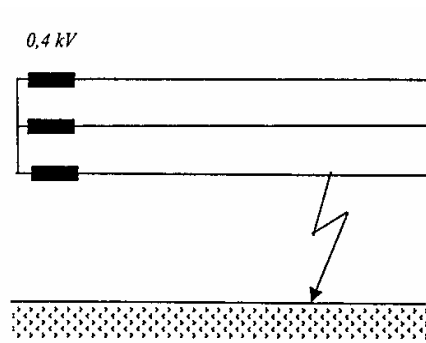


Figura 9

Aplicații

1. Într-o rețea cu neutrul izolat, cu $U_n = 3 \times 380 \text{ V}$, 50 Hz , este neglijată capacitatea față de pământ.

a) Ce valoare minimă trebuie să aibă rezistența de izolație a fazelor astfel încât curentul prin om să nu depășească 10 mA ?

b) Cât va fi curentul prin om la atingerea simultană a două faze?

Rezolvare :

În ambele cazuri este atingere directă, deci $R_h = 1000 \Omega$ și se vor neglija rezistențele suplimentare de izolație (mănuși, galoși, covoare, podețe).

a) Valoarea rezistenței de izolație rezultă din relația:

$$I_h = \frac{\sqrt{3} \cdot U}{3 \cdot R_h + R_{iz}} \Rightarrow R_{iz} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_n}{I_h} - 3R_h = \frac{\sqrt{3} \cdot 380}{0,01} - 3 \cdot 1000 = 63000 \Omega = 63 \text{ k}\Omega$$

b) Curentul prin om la atingerea a două faze va fi:

$$I_h = \frac{U_n}{R_h} = \frac{380}{1000} = 0,38 \text{ A}$$

Deci în cazul atingerii directe a unei faze, în sisteme cu neutrul izolat este suficientă o rezistență de izolație relativ mică pentru protecția omului. La atingerea a două faze, sau a unei faze când alta fază este legată (pusă) la pământ, curentul prin om este periculos, de 38 de ori valoarea admisă, chiar în cazul rețelelor cu neutrul izolat.

2. Un motor electric este alimentat de la o rețea cu neutrul legat direct la pământ cu $U_n = 380 \text{ V}$, 50 Hz și $R_0 = 4 \Omega$ (rezistența de dispersie a prizei de legare la pământ). Carcasa motorului este legată la o priză de pământ de protecție cu $R_p = 4 \Omega$. La apariția unui scurtcircuit monofazat în interiorul motorului cu punere la masă, un om atinge carcasa mașinii.

a) Să se calculeze curentul de defect care va circula prin pământ;

b) Cât va fi curentul prin om, considerând atingerea indirectă $R_h = 3000 \Omega$?

c) Ce valoare va avea curentul prin om dacă $R_p = 0,5 \Omega$?

Rezolvare:

a) Curentul de defect se calculează cu relația:

$$I_d = \frac{U_f}{R_0 + \frac{R_p R_h}{R_p + R_h}} = \frac{220}{4 + \frac{4 \cdot 3000}{4 + 3000}} = 27,5 \text{ A}.$$

b) Tensiunea la care este supus omul se calculează cu relația:

$$U_h = I_d \cdot \frac{R_p R_h}{R_p + R_h} = 27,5 \cdot \frac{4 \cdot 3000}{4 + 3000} = 110 \text{ V}.$$

Curentul prin om va fi:

$$I_h = \frac{U_h}{R_h} = \frac{110}{3000} = 0,0366 \text{ A} = 36,6 \text{ mA} > 10 \text{ mA}$$

c) În acest caz se obține:

$$I_d = \frac{220}{4 + \frac{0,5 \cdot 3000}{0,5 \cdot 3000}} = 48,9 \text{ A}$$

$$U_h = 48,9 \cdot \frac{0,5 \cdot 3000}{0,5 + 3000} = 24,45 \text{ V}$$

$$I_h = \frac{24,45}{3000} = 0,0081 \text{ A} = 8,1 \text{ mA} < 10 \text{ mA}$$

3. Să se determine rezistența de dispersie a instalației de legare la pământ aferentă unui atelier alimentar de la un tablou electric care este prevăzut pe intrare cu siguranțe fuzibile LF 100/80 A.

Rezolvare :

Curentul de punere la pământ se calculează cu relația:

$$I_p = k \cdot I_{nf} = 5 \cdot 80 = 400 \text{ A}$$

$$\text{unde } k = \begin{cases} 3,5 & \text{pentru } I_{nf} \leq 50 \text{ A} \\ 5 & \text{pentru } I_{nf} \geq 63 \text{ A} \end{cases}$$

Rezistența de dispersie a prizei va fi:

$$R_p \leq \frac{U_a}{I_p} = \frac{125}{400} = 0,312 \text{ } \Omega$$

unde $U_a = 125 \text{ V}$ pentru timpi de conectare $t < 0,2 \text{ s}$.

4. Să se dimensioneze instalația de legare la pământ pentru protecție la atingere indirectă a unei stații de pompe, alimentată printr-un tablou electric 3 x 380 V, 50 Hz, prevăzut cu un întreruptor automat care are curentul reglat al declanșatorului $I_r = 500 \text{ A}$ și timpul de declanșare maxim $t_d = 0,2 \text{ s}$. Din măsurători s-au determinat: rezistivitatea solului $\rho = 150 \text{ } \Omega$, rezistența prizei naturale $R_{pn} = 0,5 \text{ } \Omega$.

La construcția prizei artificiale se vor utiliza electrozi din țevă de oțel galvanizat cu $l = 2,5 \text{ m}$ și $d = 0,06 \text{ m}$ amplasați la adâncimea $q_v = 0,8 \text{ m}$ și la $a = 5 \text{ m} = 2l$, și platbandă din oțel galvanizată cu $s = 40 \times 4 \text{ mm}^2$, amplasată la $q_o = 0,9 \text{ m}$. Priza artificială va fi executată pe un contur închis în jurul clădirii.

Rezolvare:

Curentul de punere la pământ se calculează cu relația:

$$I_p = 1,25 I_r = 1,25 \cdot 500 = 625 \text{ A}$$

Rezistența totală va fi:

$$R_p = \frac{U_a}{I_p} = \frac{250}{625} = 0,40 \text{ } \Omega.$$

unde $U_a = 250 \text{ V}$ este tensiunea de atingere nepericuloasă pentru $t_d = 0,2 \text{ s}$.

Rezistența de dispersie a prizei de pământ artificială se determină din relația:

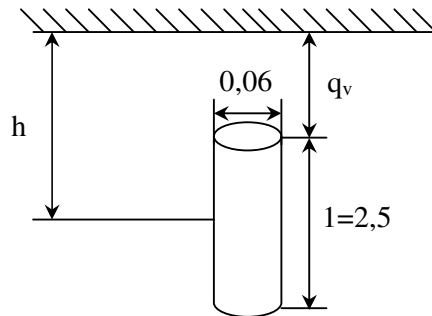
$$R_{po} = \frac{R_p \cdot R_{pn}}{R_{pn} - R_p} = \frac{0,4 \cdot 0,5}{0,5 - 0,4} = 2,0 \Omega.$$

Rezistențele de dispersie ale prizelor singulare au valorile:

- electrozi verticali din țevă:

$$r_{pv} = 0,366 \frac{\rho}{l} \left[\lg \frac{2 \cdot l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot h + l}{4 \cdot h - l} \right] = 0,366 \frac{150}{2,5} \left[\lg \frac{2 \cdot 2,5}{0,06} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot 2,05 + 2,5}{4 \cdot 2,05 - 2,5} \right] = 45,2 \Omega.$$

$$h = q_v + \frac{l}{2} = 0,8 + \frac{2,5}{2} = 2,05 \text{ m}$$



- electrozi orizontali din platbandă:

$$r_{po} = 0,366 \frac{\rho}{a} \lg \frac{a^2}{b q_o} = 0,366 \frac{150}{5} \lg \frac{5^2}{0,04 \cdot 0,9} = 31,2 \Omega$$

unde: a- distanța dintre electrozi

Numărul de electrozi se determină cu relația:

$$n = \frac{1}{R_{po}} \cdot \frac{r_{pv} \cdot r_{po}}{r_{pv} \cdot u_0 + r_{po} \cdot u_v} = \frac{1}{2} \cdot \frac{45,20 \cdot 31,12}{45,20 \cdot 0,29 + 31,2 \cdot 0,55} = 23,3 \text{ electrozi}$$

unde: u_v și u_0 se determină din tabele impunând $n = 40$.

$u_v = 0,55$; $u_0 = 0,29$

Se adoptă un număr de $n = 24$ electrozi care se vor amplasa pe conturul unui dreptunghi 50 x 15 m.

Rezistența prizei artificiale va fi $R_{pa} = 1,87 \Omega$.

Secțiunea conductoarelor din oțel de ramificație se determină cu relația:

$$s_{ram} \geq \frac{I_p \sqrt{t}}{j} = \frac{625 \sqrt{0,2}}{70} = 3,99 \text{ mm}^2.$$

Se recomandă secțiunea minimă $S_{ram} = 50 \text{ mm}^2$, deci platbanda 20x3 mm².

5. Să se dimensioneze instalația de legare la pământ aferentă unei stații de transformare în care $I_k^{(1)} = 25 \text{ kA}$. Se cunosc: $R_p = 0,2 \Omega$, $R_{pn} = 1,5 \Omega$, suprafața prizei de dispersie 100x80 m², rezistivitatea medie a solului $\rho = 120 \Omega \text{ m}$. Priza artificială va fi executată cu electrozi verticali din țevă galvanizată cu $d = 0,06 \text{ m}$ și $l = 3 \text{ m}$, amplasați la 0,8 m de la suprafața solului și electrozi orizontali din platbanda de 50 x 5 mm² și $a = 2l = 6 \text{ m}$. Se cere:

- a) să se determine numărul de electrozi;
 b) să se verifice stabilitatea termică a instalației de legare la pământ.

Rezolvare:

a) Rezistența de dispersie a prizei de distribuție a potențialelor (de dispersie) se calculează cu relația:

$$R_{dp} = (0,5 \dots 0,7) \frac{\rho}{\sqrt{S}} = 0,6 \cdot \frac{120}{\sqrt{8000}} = 0,80 \quad [\Omega].$$

Rezistența echivalentă a prizelor R_{pn} și R_{pd} :

$$R_{pc} = \frac{R_{pn} \cdot R_{pd}}{R_{pn} + R_{pd}} = \frac{1,5 \cdot 0,80}{1,5 + 0,80} = 0,522 \quad \Omega \cong 0,5 \quad \Omega.$$

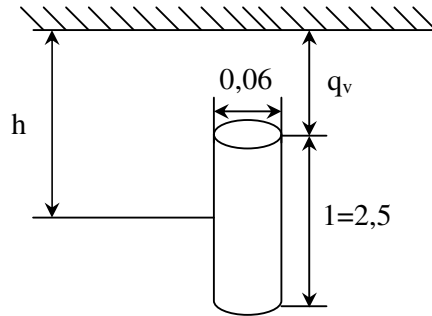
Rezistența de dispersie a prizei artificiale de legare la pământ se calculează cu relația:

$$R_p = \frac{R_p \cdot R_{pc}}{R_p + R_{pc}} = \frac{0,2 \cdot 0,5}{0,5 + 0,2} = 0,33 \quad \Omega.$$

Aplicând relațiile de calcul ale prizelor singulare verticale și orizontale, rezultă:

$$r_{pv} = 0,366 \frac{\rho}{l} \left[\lg \frac{2 \cdot l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot h + l}{4 \cdot h - l} \right] = 0,366 \frac{120}{3} \left[\lg \frac{2 \cdot 3}{0,06} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot 2,3 + 3}{4 \cdot 2,3 - 3} \right] = 31,43 \quad \Omega.$$

$$h = q_v + \frac{l}{2} = 0,8 + \frac{3}{2} = 2,3 \text{ m}$$



- electrozi orizontali din platbandă:

$$r_{po} = 0,366 \frac{\rho}{a} \lg \frac{a^2}{b q_o} = 0,366 \frac{120}{6} \lg \frac{6^2}{0,05 \cdot 0,9} = 21,25 \quad \Omega$$

Din tabelul 13.13, impunând $n = 100$, rezultă pentru prize pe contur închis $u_v = 0,5$ și $u_o = 0,24$.

Numărul de electrozi necesari:

$$n = \frac{1}{0,33} \cdot \frac{31,43 \cdot 21,25}{0,24 \cdot 31,43 + 0,5 \cdot 21,25} = 111,4 \cong 112 \text{ electrozi.}$$

Va fi necesar un contur de $112 \times 6 = 672$ m. Deci electrozii vor fi amplasați pe două contururi paralele, primul la 2 m în interiorul gardului cu 60 de electrozi, iar al doilea contur amplasat la 6 m de primul cu 52 de electrozi.

a) Verificarea stabilității termice a conductoarelor principale de legare la pământ.

Considerând $t_d = 0,2$ s, secțiunea minimă va fi:

$$s = \frac{I_d \cdot \sqrt{t_d}}{j} = \frac{12500 \cdot \sqrt{0,2}}{70} = 79,8 \text{ mm}^2$$

S-a considerat $I_d = \frac{I_k^{(1)}}{2}$, pentru două puncte de racordare.

Se adoptă secțiunea minimă admisă $s = 200 \text{ mm}^2$ care este mai mică decât cea a conductorului $50 \times 5 \text{ mm}^2$ din care este realizată priza orizontală.

Verificarea stabilității prizei de pământ se face calculând aria laterală minimă cu relația:

$$s \geq I_p \sqrt{\frac{\rho \cdot l}{\gamma \cdot \Delta\theta}} = 12500 \sqrt{\frac{120 \cdot 0,2}{1,7 \cdot 10^6 \cdot 80}} = 5,25 \text{ m}^2.$$

Aria laterală echivalentă a prizei de pământ va fi:

$$S_1 = S_v \cdot u_v + S_0 \cdot u_0 = n[\pi \cdot d \cdot l \cdot u_v + 2(b+h)l \cdot u_0] = 112(\pi \cdot 0,06 \cdot 3 \cdot 0,5 + 2 \cdot 0,055 \cdot 6 \cdot 0,24) = 49,39 \text{ m}^2.$$

Deci priza de pământ este stabilă termic.