

Capitolul 2 - Fenomene caracteristice trecerii curentului electric prin corpul uman

Celula, considerată ca și organism elementar, dar și organismele pluricelulare, în ansamblul lor, în câmpuri electromagnetice se comportă ca niște conductoare și, în același timp, ca niște generatoare de tensiuni electromotoare. Chiar și în condiții de repaus, celulele vii prezintă o diferență de potențial între nucleu și membrana celulară.

Din punct de vedere electric, organismele vii pot fi asimilate unor circuite electrobiologice, ce reprezintă volume cu proprietăți conductoare, neomogene, delimitate de spații neuniforme, cu anizotropie electrică și cu multiple surse independente de interferează în spațiu și timp, în mod variabil.

Organismele sunt conductoare electrolitice, în care sarcinile electrice se deplasează prin transfer ionic. Proprietățile electrice ale acestora sunt determinate de repartiția apei și a electroliților, în raport cu membranele celulare active.

Interacțiunile câmpurilor electromagnetice externe cu propriul câmp electromagnetic al organismelor vii sunt foarte complexe, implicațiile acestora fiind greu de cuantificat. Reacția sistemelor electrobiologice la expunerea în câmpuri electromagnetice externe poate fi de adaptare, de apărare și de autoreglare.

2.1. Efectele trecerii curentului electric prin organismul uman

Comportarea organismului uman la circulația unor curenți este foarte complexă. Pe lângă efectele directe ale trecerii curentului prin țesuturile vii, fenomene precum creșterea sudorației, însoțită de scăderea rezistenței țesuturilor cutanate, schimbarea proprietăților dielectrice ale membranelor celulare și creșterea temperaturii țesuturilor parcurse de curenți electrice, proporțional cu durata de expunere, determină o complexitate sporită a fenomenului de electrocutare. Se poate afirma, totuși, că, în general, câmpurile electrice de joasă frecvență ($50 \div 100$ Hz) au efecte asupra sistemului nervos central, iar câmpurile de înaltă frecvență ($10 \div 50$ MHz) au efecte mai ales asupra aparatului circulator.

Efectele fiziologice ale câmpurilor electromagnetice de frecvență industrială sunt determinate de efectul cumulativ al modificărilor fiziologice și biochimice produse de circulația curenților induși în organismul uman, parametrii care condiționează aceste modificări fiind intensitatea câmpului electric și durata de expunere a organismului în câmp.

Electrosecuritate

În cazul tensiunilor înalte și foarte înalte, la durate mari de expunere în câmp, pot fi evidențiate influențe nocive asupra sistemului nervos central, asupra aparatului cardiovascular și asupra stabilității funcționale a organismului, manifestate prin labilitatea pulsului și presiunii arteriale, precum și prin perturbări ale ciclului de reglare termică a organismului uman.

Sub acțiunea curentului continuu, la nivelul organismelor vii pot fi evidențiate și procese de electroliză biologică, cu efecte distructive datorate acțiunii necrozante, coagulante, caustice și lichefiante, procese specifice la nivelul electrozilor. Dacă nu se desfășoară, totuși, fenomene de electrod, fenomenul de migrare a ionilor în câmpul electric orientat și staționar conduce la modificarea pH-ului lichidelor organice, a permeabilității membranelor celulare și, în general, a stării de hidratare a organismului.

Curentul alternativ nu produce, la trecerea sa prin corpul uman, efecte de tip electroliză, dar, cu toate acestea, efectele curentului alternativ sunt mult mai nete decât ale curentului continuu. Astfel, curentul alternativ de frecvență industrială este perceput ca senzație neplăcută atunci când intensitatea sa prin corp atinge pragul de 1 mA, când pot să apară contracții musculare. La 20 mA contracțiile devin spasmodice, dureroase, iar la 50 mA acesta poate provoca decesul, fie prin stop cardiac, fie prin blocarea activității centrului respirator.

Efectele trecerii curentului electric prin conductoarele electrobiologice, în particular prin corpul uman, se pot clasifica în următoarele categorii:

- **calorice** – manifestate prin arsuri ale țesuturilor;
- **mecanice** – manifestate prin ruperea țesuturilor musculare și ale vaselor de sânge;
- **chimice** – manifestate, mai ales, prin electroliza sângelui;
- **biologice** – manifestate prin alterarea proceselor de natură electrică, specifice organismelor și de care depinde viabilitatea acestora.

Urmările acestor efecte ale trecerii curentului prin corpul uman sunt electrocutarea, arsurile electrice și metalizarea pielii, ce reprezintă modificări superficiale sau profunde ale organismului. Fenomenele care afectează funcțiile vitale, determinând tulburări cardiace și ale sistemului nervos, definesc conceptul de electrocutare sau de șoc electric. Leziunile superficiale locale, arsurile și metalizarea pielii definesc conceptul de traumatism electric.

În cazul organismului uman, cea mai plauzibilă ipoteză a decesului prin electrocutare este aceea a acțiunii complexe și distructive a curentului electric asupra sistemului nervos, în special asupra acelor centri nervoși care coordonează ritmul cardiac și cel respirator. Astfel, sub acțiunea curentului electric centrul nervoș determină contracții puternice ale mușchilor care participă la respirație, conducând la instalarea fenomenului de sufocare, simptom caracteristic electrocutării. Pe de altă parte, din punct de

Electrosecuritate

vedere electric, inima este un dipol, a cărui tensiune determină, în mod natural, un câmp electric, în corpul uman. Datorită acestui câmp electric, diferența dintre două puncte arbitrare de pe corp este de ordinul a $1 \div 1,5$ mV. Frecvența variază între 1,1 și 1,3 Hz. La trecerea curentului electric prin organismul uman, inimii i se aplică o tensiune exterioară, iar dacă curentul stabilit prin inimă depășește o anumită intensitate și o anumită pantă, acesta tinde să se contracte în ritmul impus de sursa externă. Aceste contracții se suprapun peste ritmul natural, determinând fenomenul de fibrilație.

2.2. Factorii care determină gravitatea electrocutării

La trecerea curentului electric prin organismul uman, au loc fenomene fiziologice, a căror evoluție depinde de o serie de factori, precum:

- *mărimile ce caracterizează sursa de tensiune accidentală;*
- *mărimile ce caracterizează, din punct de vedere electric, circuitul prin care se închide curentul, dar mai ales conductorul electrobiologic;*
- *mărimile ce caracterizează curentul ce se închide prin corpul uman;*
- *mărimile unor parametri psihofiziologici, caracteristici organismelor superioare și care determină sensibilități diferite la acțiunea curentului electric;*
- *parametri ai mediului ambiant.*

Practic, pentru a evalua riscul de electrocutare, trebuie analizată influența pe care o au asupra organismului uman următoarele mărimi: natura curentului, intensitatea curentului, densitatea de curent prin țesuturile umane, durata de trecere a curentului prin organism, cantitatea de electricitate care se scurge prin acesta, forma curbei curentului, viteza de variație a acestuia, frecvența, tensiunea aplicată, rezistența corpului uman, starea fizică și psihică a individului.

Parametrii mediului ambiant care influențează gravitatea electrocutării sunt: temperatura, umiditatea, presiunea atmosferică, procentul de oxigen și de dioxid de carbon din aerul respirat, microflora, câmpul electric și magnetic terestru.

2.2.1. Intensitatea curentului electric

La o valoare dată a intensității curentului, determinată de valori diferite ale tensiunii la care este supus corpul uman și ale rezistenței circuitului în care acesta este intercalat, efectele trecerii curentului prin corpul uman sunt aceleași. Tensiunea aplicată și rezistența conductorului electrobiologic sunt mărimi ce nu contează decât în măsura în care influențează valoarea curentului stabilit prin organism.

Electrosecuritate

În tehnica electrosecurității, în vederea dimensionării instalațiilor de protecție împotriva electrocutării, este necesar să se stabilească anumite valori limită ale intensității curentului electric. Astfel, se definește ca **intensitate de prag** *acea valoare minimă a curentului electric ce poate fi sesizată de către om*. În mod evident, probabilitatea producerii electrocutării scade la creșterea intensității de prag.

Senzația, urmare a excitației centrilor nervoși, variază funcție de intensitatea curentului ce se stabilește prin corpul uman, de la simpla percepere, în cazul în care intensitatea curentului electric este egală cu intensitatea de prag, până la stop respirator sau cardiac, atunci când intensitatea curentului depășește valoarea limită suportabilă. În acest sens, se utilizează conceptul de curent nepericulos. **Curentul nepericulos reprezintă** *acea intensitate a curentului electric de sub acțiunea căruia omul se poate elibera prin forțe proprii*. Limitele curenților suportabili au fost stabilite în urma analizării mai multor accidente produse prin electrocutare. S-a ajuns la concluzia că poate fi considerat nepericulos curentul alternativ a cărui intensitate este mai mică de 20 mA și curentul continuu a cărui intensitate este mai mică de 50 mA.

Explicația unor valori atât de mici ale curentului nepericulos poate fi dată prin instaurarea stării de angoasă, ce are ca efect eforturi necoordonate ale organismului și rapida instaurare a unei stări de oboseală accentuată. Organismul uman nu este parcurs în totalitate de curentul electric. Sub acțiunea coordonată conștient a mușchilor neparcurși de curent, omul s-ar putea elibera din circuit. Totuși, starea de spaimă se instalează rapid, este greu de controlat, mișcărilor corpului devin necoordonate, astfel încât la intensități ale curentului alternativ cuprinse între 20 mA și 50 mA convulsiile mușchilor nu permit desprinderea omului din circuit, întregul corp este paralizat, fiind foarte rare situațiile în care omul se mai poate elibera singur de sub acțiunea curentului electric. Această fază este foarte periculoasă, deoarece rezistența corpului uman scade continuu, pe durata trecerii curentului prin organism, și, deci, la o tensiune dată, intensitatea curentului prin corpul uman va crește în mod continuu.

Un alt concept este acela de **curent mortal**. Astfel, în raport cu tipul curentului și caracteristicile individuale ale organismului, strict condiționat de durata de trecere a curentului prin organismul uman, **curenți având intensitate de minimum 100 mA, pentru timpi de trecere mai mari de 0,1 ÷ 0,2 secunde, sunt mortali pentru om**.

La intensități ale curentului mai mari de 5 A, consecințele expunerii sunt grave datorită arsurilor interne și externe și nu datorită electrocutării. Acest efect poate fi explicat și prin faptul că, la asemenea intensități ale curentului, atingerea este însoțită, de obicei, de producerea arcului electric. Reflexul de apărare determină mișcări involuntare ale omului. Acestea conduc la întreruperi repetate ale circuitului, prin arderea intermitentă a arcului electric, fenomen similar cu creșterea frecvenței curentului, fapt ce determină reducerea probabilității de apariție a fibrilației inimii.

Electrosecuritate

În raport cu valorile anterioare, există excepții de încadrare în limitele generale, efect al factorului surpriză. Acest efect are influență importantă asupra sistemului nervos. Astfel, decesul se poate instala într-un timp mai scurt și la valori mai mici ale curentului prin corpul uman atunci când omul este surprins de acțiunea curentului electric, față de cazul în care omul se așteaptă să fie supus acestei acțiuni. Evident, nu poate fi trasă concluzia că personalul de exploatare a instalațiilor electrice, care cunoaște pericolul potențial al acestora, este mai puțin expus producerii unor accidente.

Analizele efectuate asupra accidentelor prin electrocutare au condus la concluzia că intensitatea curentului suportată de corpul uman este cu atât mai mică cu cât durata de trecere a curentului este mai mare. Dependența de timp a valorii de vârf a intensității curentului alternativ suportat de către organismul uman este de tipul celei prezentate în figura 2.1.

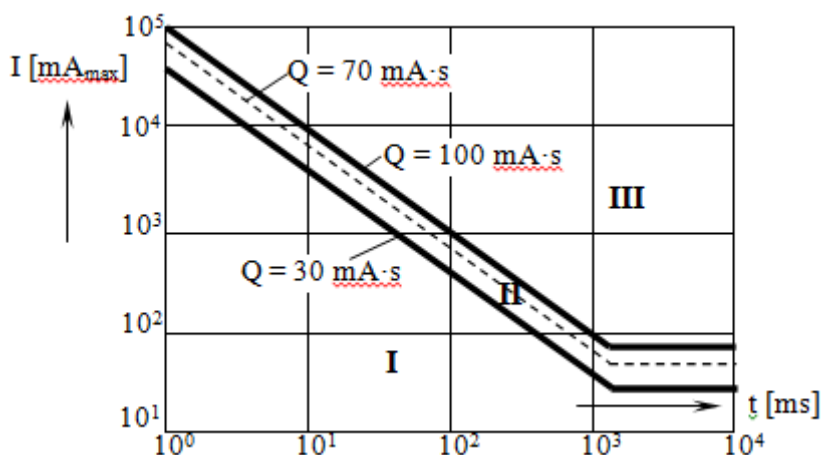


Fig. 2.1. Dependența de timp a valorii de vârf a curentului alternativ suportat de corpul uman

Curbele trasate în figura 2.1 delimitează trei domenii ale intensității curentului, astfel:

- **I – domeniul curenților nepericuloși;**
- **II – domeniul intensităților curenților care pot determina stop respirator și chiar fibrilații ale inimii, dar numai la durate relativ mari de trecere a curentului;**
- **III – domeniul curenților mortali pentru om.**

La limita de separație dintre domeniile I și II, pentru un timp de trecere a curentului de până la 1000 ms, curba de dependență a valorii de vârf a curentului nepericulos de timp corespunde unei cantități de electricitate de $30 \text{ mA}\cdot\text{s}$, iar pentru un timp mai mare de 1000 ms, curba este paralelă cu abscisa și indică o intensitate a

Electrosecuritate

curentului de 30 mA, valoarea efectivă a curentului fiind de 21 mA. Rezultă că acei curenți a căror intensitate este mai mică de 20 mA sunt nepericuloși pentru om, chiar dacă durata de trecere a curentului prin organism este mare.

La limita de separație dintre domeniile II și III, valoarea de vârf a curentului este de 70 mA, ceea ce corespunde unei valori efective de 50 mA. Cu toate că în domeniul II nu este de așteptat să se înregistreze decesul, la valori mari ale intensității curentului este de așteptat să se producă pierderea conștienței.

Analiza accidentelor produse prin electrocutare a permis particularizarea curbelor generale, de tipul celor trasate în figura 2.1, pentru diferite trasee de închidere a curentului prin corpul uman. Astfel, în figura 2.2 sunt date curbele corespunzătoare trecerii curentului alternativ de frecvență industrială prin corpul uman, în cazul atingerii mână-mână, în conformitate cu publicația CEI 60479-1/1994.

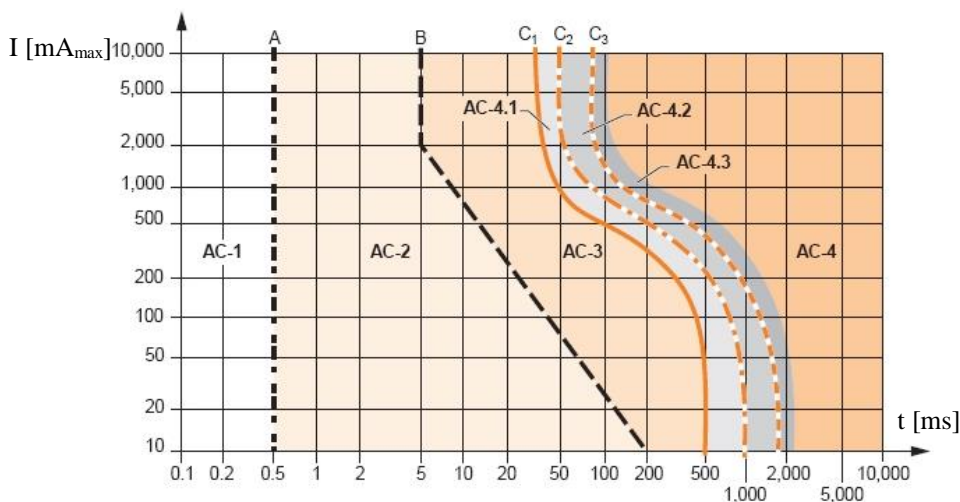


Fig.2.2. Domeniile timp-curent ale efectelor trecerii curentului alternativ prin corpul uman, în cazul atingerii mână-mână.

Semnificația notațiilor din figura 2.2 este următoarea:

- curba A – pragul de percepție a curentului (intensitatea de prag);
- curba B – pragul de apariție a reacției musculare;
- curba C1 – pragul de 0 % probabilitate de apariție a fibrilației ventriculare;
- curba C2 – pragul de 5 % probabilitate de apariție a fibrilației ventriculare;
- curba C3 – pragul de 50 % probabilitate de apariție a fibrilației ventriculare.

Rezultă, deci, că domeniul AC-1 este acela al curenților imperceptibili, domeniul AC-2 este al curenților percepuți de către sistemul nervos, domeniul AC-3 este acela al efectelor reversibile (aparitia contractiilor musculare), domeniul AC-4 este acela al

Electrosecuritate

producerii unor efecte ireversibile ale trecerii curentului asupra organismului uman. Subdomeniile AC-4.1 ÷ AC-4.3 corespund unor diferite probabilități de apariției a fibrilației inimii.

Reprezentările grafice arată că intensitatea curentului ce trece prin corpul uman nu este singura mărime fizică ce poate fi considerată determinantă în producerea fibrilației inimii, nici chiar între o sistolă și o diastolă, fază de maximă sensibilitate a inimii. Rolul hotărâtor îl are produsul dintre intensitatea curentului și durata de trecerea a acestuia prin corpul uman, adică cantitatea de electricitate ce parcurge organismul. Intensitatea curentului și timpul de expunere la trecerea curentului electric se condiționează reciproc, produsul lor fiind mărimea ce determină fibrilația inimii.

Pentru analiza comportării organismului uman la trecerea curentului alternativ este concludentă valoarea de vârf a intensității curentului și nu valoarea sa efectivă.

Sistemele de protecție împotriva electrocutării au ca parametru de ieșire limita intensității curentului (I_h) care poate fi suportat de către om, fără pericol iminent.

În general, în cazul acțiunii de scurtă durată a curentului electric, care nu depășește termenul limită de 3 secunde, intensitatea curentului care poate fi suportat de către om poate fi calculată cu relația:

$$I_h = \frac{0,165}{\sqrt{t}} \text{ [A]}, \quad (2.1)$$

în care t reprezintă durata de trecere a curentului prin corpul uman, în secunde. Variația neliniară în timp a curentului ce poate fi suportat de către om este de tipul celei reprezentate în figura 2.3.

În cazul acțiunii de lungă durată a curentului, valoarea limită a curentului la care se consideră că nu se produce fibrilația este de 50 mA_{max}, valoare ce coincide cu limita nepericuloasă a curentului continuu.

2.2.2. Durata de trecere a curentului prin organism

Durata de trecere a curentului prin corpul uman nu este un parametru independent al gravității electrocutării. Timpul, componentă a produsului curent • timp, are un rol foarte complex și, uneori, hotărâtor în producerea electrocutării. Astfel, rezistența corpului uman scade pe măsură ce durata de intercalare în circuit crește, în principal datorită încălzirii și străpungerii stratului superficial al pielii.

Electrosecuritate

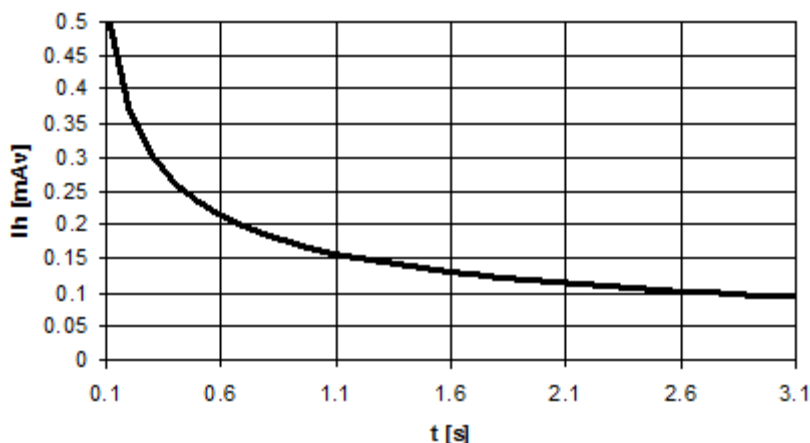


Fig. 2.3. Dependența de timp a curentului ce poate fi suportat de organismul uman

În diferite stări de contracție, sensibilitatea inimii față de curentul electric este diferită, deci cu cât durata de expunere la acțiunea curentului este mai mare, cu atât este mai probabil ca inima să fie surprinsă în starea ei de maximă sensibilitate. Astfel, timp de 0,1 secunde, între o sistolă și o diastolă consecutive, mușchiul cardiac trece printr-o stare de relaxare în care inima este deosebit de sensibilă la trecerea curentului. Rezultă că un curent care parcurge corpul mai mult de o secundă va regăsi, cu certitudine, inima în starea ei de maximă sensibilitate. Evident, abordarea nu poate fi decât una de tip probabilistic, deoarece valoarea instantanee a curentului, în momentul în care inima este relaxată, poate varia între valoare zero și valoare de vârf.

Dacă trecerea curentului prin organism nu coincide cu faza de relaxare a inimii, aceasta poate suporta curenți a căror intensitate poate atinge 10 A, fără a se produce paralizia miocardului.

În cazul curentului alternativ de frecvență industrială, corelația durată de trecere - intensitatea curentului, care conduce la fibrilația inimii, este aceea din tabelul 2.1. Valorile din tabel sunt practic aceleași pentru domeniul de frecvențe 40 ÷ 60 Hz.

Tabelul 2.1. Cupluri de valori curent-timp la care se produce fibrilația inimii

Curent [mA]	10	25	50	65	95	110	160	165	250	350	500	1000
Timp [s]	272	44	11	6	3	2,5	1,06	1	0,43	0,22	0,108	0,027

Relația curent-timp asupra efectelor globale ale trecerii curentului prin corpul uman este de tipul celei prezentate în tabelul 2.2.

Electrosecuritate

Tabelul 2.2. Efectele globale ale trecerii curentului prin corpul uman

Cate- goria	Curentul	Timpul [s]	Efectele asupra organismului uman
I	25 mA	nedefinit	Creștere ușoară a presiunii sângelui. Ușoară tetanizare a mușchilor respiratori. Nu se semnalează vătămări la nivelul sistemului circulator sau al inimii.
II	25÷80 mA	25 ÷ 30	Creșterea presiunii sângelui. Dereglarea respirației. Oprirea temporară a inimii, urmată de funcționare neregulată. Trecerea către fibrilația inimii.
III	80 mA ÷ 5A	0,1 ÷ 0,3	Fibrilația ireversibilă a inimii.
IV	3 ÷ 8 A	nedefinit	Oprirea inimii și a circulației sângelui pe durate relativ mari, neregulate. Creșterea presiunii sângelui în perioadele de funcționare a inimii. Îmbolnăvirea mușchilor respiratori. Producerea unor arsuri, în special la nivelul țesuturilor interne.

2.2.3. Natura și frecvența curentului

Intensitatea curentului de prag și, deci, probabilitatea producerii fibrilației inimii sunt dependente, esențial, de natura și frecvența curentului care se încheie prin corpul uman. Comparând sensibilitatea omului la curent continuu cu aceea determinată de trecerea curentului alternativ, se constată că pot fi suportați curenți continui având intensitate chiar de trei ori mai mare decât în cazul curentului alternativ de frecvență industrială. De asemenea, au fost observate contracții musculare dureroase în momentul conectării omului în circuit, dar mai ales în momentul întreruperii circulației curentului prin organism.

Impedanța conductorului electrobiologic scade la creșterea frecvenței, datorită reducerii reactanței capacitive a pielii, deci, pentru o aceeași tensiune aplicată conductorului electrobiologic, la creșterea frecvenței va crește intensitatea curentului prin aceasta. Această creștere a intensității curentului, efect al reducerii impedanței, ar trebui să determine agravarea efectelor trecerii curentului prin corpul uman. În realitate, însă, se constată exact contrariul. Pericolul producerii fibrilației inimii sau acela al apariției stopului respirator scade pe măsura creșterii frecvenței.

Ațiunea curentului alternativ asupra unui conductor electrobiologic, în funcție de intensitatea și frecvența curentului, poate fi exprimată printr-o relație de forma:

$$\frac{I}{\sqrt{f}} = \text{constant}, \quad (2.2)$$

în care semnificația notațiilor este:

Electrosecuritate

I - valoarea de vârf a intensității curentului ce parcurge corpul uman, dată în [A];
 f - frecvența, în [Hz].

Relația (2.2) se poate utiliza numai pentru frecvențe cuprinse între 10 Hz și 1000 Hz, pericolozitatea trecerii curentului prin corpul uman, funcție de frecvență, fiind redată de reprezentarea grafică din figura 2.3.

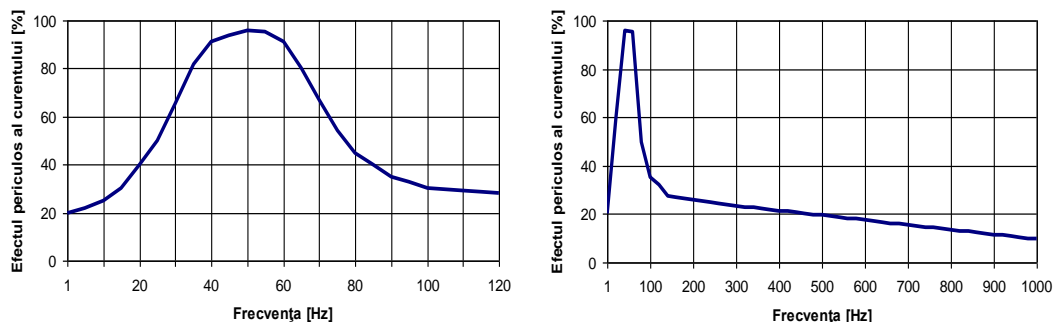


Fig. 2.3. Dependența pericolozității procentuale a trecerii curentului de frecvența acestuia.

Explicația acestei dependențe rezultă din modul de comportare a celulelor vii, ca mediu electrolitic, la trecerea curentului electric. La nivel celular, conducția ionică reprezintă mecanismul electrocinetic principal. Astfel, la aplicarea unei tensiuni continue ionii se orientează spre membranele de semn contrar, iar celulele, cu caracter de dipol, se orientează în câmpul electric aplicat și de întind. În cazul aplicării unei tensiuni alternative, se produce o mișcare oscilatorie a ionilor, în alt ritm decât cel fiziologic, mișcare ce determină perturbarea funcțiilor biochimice, la nivel celular. Traseul parcurs de ioni este cu atât mai scurt cu cât frecvența tensiunii aplicate este mai mare, deci perturbarea produsă de circulația curentului alternativ este cu atât mai mică cu cât frecvența este mai mare. În acest fel, se poate explica reducerea importanței a riscului producerii unei electrocutări la creșterea frecvenței, mai ales pentru cazul în care frecvența curentului, ce străbate corpul uman, este mai mare de 2000 Hz.

Așa cum se poate observa din figura 2.4, curba intensității de prag descrește, practic, exponențial, la descreșterea frecvenței, trece printr-un minim destul de larg, care corespunde pericolozității maxime a trecerii curentului prin corpul uman, după care crește, din nou, de asemenea, după o exponențială. Minimul intensității de prag este apropiat de frecvența de 50 Hz. La frecvențe mari, intensitatea de prag crește mult deoarece cantitatea de electricitate care pătrunde în organism, într-o perioadă, este cu atât mai mică cu cât frecvența este mai mare. Sensibilitatea relativ redusă la frecvențe mai mici de 10 Hz, cu toate că cantitatea de electricitate care pătrunde în organism, într-o perioadă a tensiunii alternative, este mare, se datorează pantei mici a curentului și acomodării relative a celulelor vii cu circulația unui curent electric.

Electrosecuritate

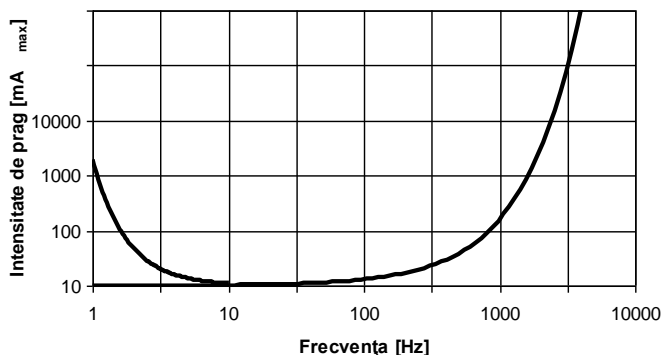


Fig. 2.4. Dependența intensității de prag de frecvență

Curenții alternativi de frecvență foarte mare nu au efecte periculoase de excitare a sistemului nervos, chiar la intensități foarte mari. Curenții alternativi cu frecvențe mai mici de 5 Hz nu se deosebesc, în ceea ce privește efectul trecerii acestor prin corpul uman, de curentul continuu.

Trebuie menționat faptul că diferența între sensibilitatea manifestată la trecerea curentului continuu și aceea manifestată la trecerea curentului alternativ se manifestă numai la tensiuni joase. La tensiuni mai mari de 450 V, urmările acțiunii curentului electric pentru organismul uman sunt practic la fel de grave, indiferent de natura curentului. La acest nivel de tensiune se produce străpungerea stratului superficial al pielii și, ca urmare, impedanța corpului uman va avea, practic, numai componenta dată de rezistența țesuturilor musculare, având aceeași valoare și în curent continuu și în curent alternativ.

La schimbarea bruscă a intensității curentului care circulă prin corpul uman, dar mai ales la întreruperea acestuia, au loc contracții musculare violente. Acest efect scoate, astfel, în evidență influența pe care o are evoluția în timp a curentului. S-a constatat că dintre doi curenți cu aceeași valoare efectivă, cel cu amplitudine mai mare este mai periculos pentru corpul uman.

2.2.4. Tensiunea la care este supus omul

Intensitatea curentului stabilit prin corpul uman depinde de tensiunea la care este supus acesta și rezistența electrică a organismului, în momentul intercalării în circuit. Cu toate acestea, nu s-a putut determina relația de legătură directă care există între tensiunea accidentală și intensitatea curentului prin corpul uman, datorită variației după legi încă incomplet cunoscute a rezistenței electrice a organismului. Din acest motiv, în practica curentă, probabilitatea de producere a electrocutării se raportează la tensiunea accidentală, la care este supus corpul uman, și nu la intensitatea curentului care se

Electrosecuritate

închide prin acesta. Astfel, se face o raportare la un parametru cunoscut, așa cum este tensiunea sursei, pericolul potențial al unei instalații electrice, din punctul de vedere al electrocutării, raportându-se la acest parametru.

În acest sens, pentru a stabili limitele condițiilor de protecție, ar fi foarte utilă utilizarea conceptului de *tensiune nepericuloasă*, ca fiind acea tensiune la care riscul producerii electrocutării este, practic, nul. Totuși, un astfel de concept nu poate fi fundamentat deoarece electrocutarea este determinată de cantitatea de electricitate care circulă prin corpul uman și nu de tensiunea la care acesta este supus.

Cu toate că utilizarea tensiunii, ca element de referință în ceea ce privește gravitatea electrocutării, prezintă inconvenientul că nu pot fi stabilite limite precise pentru tensiunile periculoase, cu valoare sigură din punctul de vedere al producerii fibrilației inimii sau stopului respirator, proiectarea sistemelor de protecție începe cu determinarea valorii tensiunii la care este supus omul și nu a curentului stabilit prin acesta. O asemenea abordare este justificată de faptul că tensiunea este cunoscută și relativ constantă, pentru fiecare instalație electrică, în timp ce intensitatea curentului electric ce se stabilește prin corpul uman este dificil de determinat cu precizie.

Pe baza experimentelor referitoare la intensitățile de prag și la mărimea rezistenței probabile a corpului uman, în cele mai defavorabile condiții din punct de vedere electric, s-a putut determina o limită de pericolozitate relativ la tensiune, valoare necesară în stabilirea parametrilor de ieșire ai unui sistem de protecție împotriva electrocutării. Astfel, pentru timpi de trecere ai curentului ce nu depășesc trei secunde, tensiunea de atingere nepericuloasă poate fi calculată cu o relație de forma:

$$U_a \leq \frac{I_h \cdot R_h}{C_s} = \frac{0,165 \cdot 3000}{C_s \cdot \sqrt{t}}, \quad (2.3)$$

în care semnificația notațiilor este următoarea:

- U_a – tensiunea de atingere;
- I_h – intensitatea curentului prin corpul uman;
- R_h – rezistența corpului uman, valoarea de 3000 Ω corespunzând cazului atingerii indirecte;
- C_s – coeficient de siguranță având valori cuprinse între 1 și 8, funcție de categoria instalației, de condițiile de exploatare și de timpul de deconectare a omului intercalat în circuit.

Limitele tensiunilor de lucru și a tensiunilor accidentale, de atingere și de pas, sunt stabilite pe baza statisticilor accidentelor înregistrate și depind, în principal, de următorii factori:

- puterea și tensiunea de lucru ale instalației electrice;
- condițiile de exploatare a echipamentului respectiv;

Electrosecuritate

- posibilitatea asigurării unei protecții radicale prin măsuri de bază și măsuri suplimentare.

În conformitate cu normele generale de protecție a muncii stabilite în România, în concordanță cu normativele europene, sunt stabilite cinci categorii de tensiuni maxime admisibile, astfel:

- *tensiuni de lucru maxime admise pentru echipamente tehnic portabile, folosite în medii periculoase și foarte periculoase;*
- *tensiuni maxime de lucru pentru alimentarea corpurilor de iluminat;*
- *tensiuni maxime admise pentru echipamente mobile de sudare cu arc electric;*
- *tensiuni maxime admise de atingere și de pas;*
- *limite admisibile de expunere în câmpuri electrice și magnetice, de diferite frecvențe.*

Limitele tensiunilor de lucru pentru echipamente tehnice portabile se dau în funcție de măsurile de protecție împotriva electrocutării prin atingere indirectă, ce trebuie adoptate, și de tipul rețelei în care se poate aplica măsura de protecție respectivă, conform datelor din tabelul 2.3

Tabelul 2.3. Limita maximă admisă a tensiunii de lucru pentru echipamentele tehnice portabile

Nr. crt.	Măsura de protecție aplicată	Tipul rețelei de alimentare în care se aplică măsura propusă	Tensiunea de lucru maximă admisă [V]
1	Separarea de protecție	T sau I	400
2	Izolație suplimentară de protecție (echipamente cu dublă izolație)	T sau I	400
3	Egalizarea potențialelor	T sau I	400
4	Izolație întărită și alimentarea cu tensiune redusă	T sau I	50
5	Alimentarea cu tensiune redusă și izolație de lucru	T sau I	24
6	Legarea la nul (schema TN) sau la pământ (schema TT) și folosirea la manipulare a mănușilor și cizmelor (sau covorașe și platforme) electroizolante sau izolarea dispozitivelor de manevră a utilajului	T	400
7	Legarea la pământ (schema IT) și deconectarea la o punere simplă la pământ sau utilizarea izolației întărite sau folosirea la manipulare a mănușilor și cizmelor (sau covorașe și platforme) electroizolante	I exploatare la suprafață	400
8	Legarea la pământ (schema IT) și controlul permanent al rezistenței de izolație a rețelei, conform documentației tehnice specifice	I exploatare subterană	127

Notații:

Electrosecuritate

T – rețea cu neutrul legat la pământ; **I** – rețea cu neutrul izolat față de pământ; **TN** – schemă care cuprinde o rețea cu neutrul legat la pământ, iar protecția împotriva electrocutărilor prin atingere indirectă este realizată prin legarea la nul; **TT** - schemă care cuprinde o rețea cu neutrul legat la pământ, iar protecția împotriva electrocutărilor prin atingere indirectă este realizată prin legarea la pământ; **IT** - schemă care cuprinde o rețea cu neutrul izolat față de pământ, iar protecția împotriva electrocutărilor prin atingere indirectă este realizată prin legarea la pământ.

Observație – Măsura de protecție de la numărul curent 6 se aplică numai condiționat.

Tensiunile maxime admise pentru alimentarea corpurilor de iluminat se dau în funcție de tipul corpului de iluminat, de zona de amplasare a acestora și de măsurile de protecție împotriva electrocutării, în conformitate cu datele din tabelul 2.4

Tabelul 2.4. Limita maximă a tensiunilor de lucru pentru alimentarea corpurilor de iluminat

Nr. crt.	Zona de amplasare	Tipul rețelei de alimentare	Măsura de protecție aplicată corpului de iluminat	Tensiunea de lucru maximă admisă [V]	Observații
<i>Corp de iluminat fix sau mobil cu lampă cu incandescență sau cu vapori de înaltă presiune:</i>					
1	a) În afara zonei de manipulare sau în locuri puțin periculoase	T sau I	-	231	-
	b) În zone de manipulare din locuri periculoase și foarte periculoase	T sau I	Blocare care să permită deschiderea numai cu scule speciale sau numai după scoaterea de sub tensiune, grad de protecție IP44, legare la pământ sau la nul	231	Nu este obligatorie blocarea pentru iluminatul de siguranță, care în mod normal nu se află sub tensiune
	c) În zone de manipulare din locuri periculoase și foarte periculoase	I	Protecție prin legare la pământ, iar în cazul exploatărilor miniere se adaugă și controlul permanent al rezistenței de izolație a rețelei	133	-
	d) În zone de manipulare din locuri periculoase și foarte periculoase	T sau I	Tensiune redusă (foarte joasă)	24	Periodic se verifică izolația circuitelor și a transformatorului coborât
<i>Corp de iluminat fix sau mobil cu lampă fluorescentă</i>					
2	a) În afara zonei de manipulare sau în locuri puțin periculoase	T sau I	-	231	-

Electrosecuritate

	b) În zone de manipulare și locuri periculoase și foarte periculoase	T sau I	Legarea la pământ sau la nul	231	-
3	<i>Lămpi electrice portabile</i>				
	Indiferent de zonă	T sau I	Tensiune redusă (foarte joasă)	24	Periodic se verifică izolația

Tensiunile de lucru maxime admise pentru echipamentele mobile de sudare cu arc electric sunt stabilite funcție de partea din circuitul de sudare considerată și de măsura de protecție aplicată pentru protejarea sudorului, în cazul atingerii directe a părților neizolate (așa cum este cleștele de sudat). Limitele maxime admise ale acestor tensiuni sunt date în tabelul 2.5

Tabelul 2.5. Limite maxime admise pentru tensiunile de lucru ale echipamentelor mobile de sudare cu arc electric

Nr. crt.	Partea din circuitul de sudare	Măsura de protecție aplicată	Tensiune a maximă admisă [V]	
1	Înfășurarea primară a transformatorului pentru sudare	Protecție împotriva atingerilor directe și indirecte	500	
2	Înfășurarea primară a transformatorului pentru sudare	Măsuri de protejare a sudorului în cazul atingerii părților neizolate ale circuitului, de exemplu deconectarea de la rețea a transformatorului la întreruperea arcului electric	75	
		Reducerea tensiunii de mers în gol	mediu periculos	48
			mediu foarte periculos	24
3	Circuitul de sudare a generatoarelor sau convertizoarelor de curent continuu	Protecție împotriva atingerilor directe și indirecte	exploatare la suprafață	100
			exploatare subterană	65
<i>Observație:</i> Valorile de la numerele curenți 2 și 3 se referă la tensiunile de mers în gol ale circuitelor de sudare				

Limitele maxime ale tensiunilor accidentale de atingere și de pas se dau în mod diferențiat, funcție de nivelul tensiunii nominale al instalației, precum și în funcție de categoria instalației de alimentare, de zona de amplasare a echipamentelor și instalațiilor și de timpul de întrerupere a alimentării cu energie electrică în cazul producerii unui defect.

Valorile corespunzătoare tensiunilor de atingere și de pas ale echipamentelor și instalațiilor de joasă tensiune sunt date în tabelul 2.6, iar pentru echipamentele și instalațiile de înaltă tensiune în tabelul 2.7.

Electrosecuritate

Tabelul 2.6. Limita maximă a tensiunilor accidentale pentru instalații de joasă tensiune

Nr. crt.	Categorია rețelei de alimentare	Zona de amplasare a instalației electrice	Tensiunea maximă admisă de atingere și de pas, în volți, pentru un timp de deconectare de	
			3 s	> 3 s
1	de curent alternativ	la suprafață	65	50
		în subteran	24	24
2	de curent continuu	la suprafață	120	65
		în subteran	24	24

Tabelul 2.7. Limita maximă a tensiunilor accidentale pentru echipamente de înaltă tensiune

Nr crt	Tipul echipamentului	Zona de amplasare	Tipul rețelei	Tensiunea maximă de atingere și de pas, în volți, pentru timpul de întrerupere la protecția de bază de (secunde):								
				0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8÷1,2	1,2÷3,0	> 3
1	Echipamentul electric (exclusiv stâlpilor LEA)	Circulație frecventă	I, T ₁	125	100	85	80	75	70	65	65	50
			T ₂	250	200	165	150	140	130	125	65	50
		Circulație redusă, fără folosirea mijloacelor individuale de protecție izolante	I, T ₁	250	200	165	150	140	130	125	125	125
			T ₂	500	400	330	300	280	260	250	125	125
		Circulație redusă, cu folosirea mijloacelor individuale de protecție izolante	I, T ₁	500	400	330	300	280	260	250	250	250
T ₂	1100	795	600	500	500	500	500	250	250			
2	Stâlpi ai LEA fără aparataj	Circulație frecventă din localități	I	125	125	125	125	125	125	125	125	125
			T ₁	250	250	250	250	250	250	250	250	250
			T ₂	1100	795	600	500	500	500	500	250	250
		Circulație frecventă în afara localităților	I, T ₁ , T ₂	Nu se standardizează								
		Circulație redusă	I, T ₁ , T ₂	Nu se standardizează								
		Incinte industriale și agricole, plaje și terenuri de camping	I, T ₁	125	125	125	125	125	125	125	125	125
T ₂	250		250	250	250	250	250	250	125	125		
3	Stâlpii cu aparataj ai LEA	În general, indiferent de zonă	I	125	125	125	125	125	125	125	125	125
			T ₁	250	250	250	250	250	250	250	250	250
			T ₂	500	500	500	500	500	500	500	250	250
		Incinte industriale și agricole, plaje și terenuri de camping	I, T ₁	125	125	125	125	125	125	125	125	125
			T ₂	250	250	250	250	250	250	250	125	125

Observație: Notațiile referitoare la tipul rețelei au următoarea semnificație: **I** – rețea izolată față de pământ; **T₁** – rețea legată la pământ cu un sistem de eliminare a defectului; **T₂** – rețea legată la pământ cu două sisteme de eliminare a defectului.

Electrosecuritate

Așa cum se poate observa în cazul instalațiilor de înaltă tensiune, limitele sunt stabilite și funcție de tipul echipamentului, iar intervalele de timp până la deconectare sunt discretizate în mai multe domenii, pentru un timp de deconectare de până la trei secunde, spre deosebire de cazul instalațiilor de joasă tensiune.

Comisia Electrotehnică Internațională (IEC – International Electrotechnical Commission), prin standardul IEC 60449, limitează tensiunea maximă de atingere, considerată ca fiind nepericuloasă, la 50 V – în locuri de muncă nepericuloase sau puțin periculoase, și la 25 V – pentru locurile de muncă foarte periculoase și, în ambele situații, pentru durate de expunere mai mici de 5 secunde. În plus, prin standardul IEC 60363, este normalizată durata maximă de deconectare a sistemelor de protecție atunci când există riscul apariției unei tensiuni accidentale de atingere mai mari decât aceea maximă admisibilă, normată prin standardul IEC 60449. Aceste valori depind și de tipul rețelei, de curent continuu sau de curent alternativ. Se abordează, astfel, problematica tensiunilor accidentale maxime funcție de durata de expunere a organismului uman și în rețelele de joasă tensiune, la fel ca și în rețelele de înaltă tensiune, așa cum s-a arătat în tabelul 2.7.

Aceste valori ale tensiunilor sunt date în tabelul 2.8.

Tabelul 2.8. Limita maximă a tensiunilor accidentale de atingere în rețele de joasă tensiune, conform standardului IEC 60364

Locuri de muncă nepericuloase sau puțin periculoase, cu tensiune maximă de atingere de 50 V, dacă durata de expunere este mai mică de 5 s – conform IEC 60449											
Tensiunea de contact prezumată [V]		<50	50	75	90	120	150	220	280	350	500
Timpul maxim de deconectare al sistemelor de protecție [s]	c.a.	5	5	0,60	0,45	0,34	0,27	0,17	0,12	0,08	0,04
	c.c.	5	5	5	5	5	1	0,40	0,30	0,20	0,10
Locuri de muncă foarte periculoase, cu tensiune maximă de atingere de 25 V, dacă durata de expunere este mai mică de 5 s – conform IEC 60449											
Tensiunea de contact prezumată [V]		25	50	75	90	110	150	220	280	-	-
Timpul maxim de deconectare al sistemelor de protecție [s]	c.a.	5	0,48	0,30	0,25	0,18	0,10	0,05	0,02	-	-
	c.c.	5	5	2	0,80	0,50	0,25	0,06	0,02	-	-

Limitele de expunere în câmpuri electrice și magnetice nu sunt date numai sub forma unor limite ale tensiunilor induse în organism, în anumite regimuri ale instalațiilor de transport a energiei electrice, ci și sub forma unor valori limită ale intensității câmpului electric, respectiv ale inducției câmpului magnetic. Astfel de valori sunt date în tabelele 2.9 și respectiv 2.10.

Electrosecuritate

Tabelul 2.9. Limite de expunere în câmpuri electrice statice

Tipul valorii limită	Intensitatea câmpului electric static (E) [kV/m]	Durata expunerii
Valoare limită de expunere	14	ziua de lucru de 8 ore
Valoare plafon	42	160 minute, conform relației $t_{expunere} < 112/E$
<p><i>Note:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Valoarea plafon a intensității câmpului electric este o valoare limită de expunere care se bazează pe nivelul curenților electrici de la suprafața corpului sau induși în corp, sub care se consideră că nu există un efect nociv pentru sănătate. Valoarea plafon nu trebuie depășită în nici un moment, pe toată durata zilei de lucru. 2. Purtătorii de implant cardiac nu trebuie să fie expuși la valori ale câmpului electric static mai mari de 1 kV/m. 3. Pentru valori ale câmpului static cuprinse între 5 și 7 kV/m există riscul de apariție a curenților de contact și a descărcărilor electrice. 4. În caz de intervenție în câmp electric static cu o intensitate mai mare de 15 kV/m este necesară purtarea echipamentelor de protecție (salopetă specială, mănuși etc). 5. Se consideră că pentru intensități ale câmpului electric static mai mici de 25 kV/m nu este percepută sarcina electrică de suprafață. 		

Tabelul 2.10. Limite de expunere în câmpuri magnetice statice

Parametrul	Valoarea medie ponderată pentru expunere de durată	Valoarea plafon pentru întregul corp	Valoarea plafon pentru membre
Densitatea de flux magnetic (B) [mT]	200	2000	5000
<p><i>Note:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Valoarea medie pentru expunere de durată se referă la densitatea câmpului magnetic la care este expus întregul corp, în fiecare zi de lucru de 8 ore. 2. Limitele exprimate prin valoarea plafon nu trebuie depășite în nici un moment al zilei de lucru. 3. În situația în care nivelul câmpului magnetic depășește limita de expunere exprimată ca valoare medie ponderată, dar nu și valoarea plafon, se va limita timpul de lucru, în acea zonă, astfel încât media ponderată pe ziua de muncă de 8 ore să nu depășească limita de 200 mT . 4. Pentru câmpuri magnetice neomogene, densitatea medie de flux magnetic trebuie măsurată pe o suprafață de 100 cm². 5. Limitele din acest tabel nu asigură și protecția persoanele cu implanturi cardiace, alte implanturi cu dispozitive activate electric sau implanturi feromagnetice. Se consideră că majoritatea implanturilor cardiace nu sunt afectate de câmpuri mai mici de 0,5 mT, motiv pentru care în locurile în care densitatea câmpului magnetic este mai mare de 0,5 mT trebuie dispuse panouri de avertizare. 6. Dacă densitatea de câmp magnetic depășește 3 mT, trebuie luate măsuri pentru a preveni riscurile datorate lovirii cu obiecte metalice care se pot deplasa sub acțiunea câmpului magnetic. 7. Ceasurile analogice, cartelele de credit, benzile magnetice, dischetele etc. pot fi afectate la expunere în câmpuri magnetice de 1 mT, fără ca la această valoare să fie afectată securitatea 			

2.2.5. Rezistența electrică a corpului uman

Rezistența electrică a corpului uman este, pe lângă tensiune, un alt factor important în stabilirea valorii intensității curentului electric care circulă prin om.

Mărimea rezistenței electrice a conductoarelor electrobiologice este determinată, în mod esențial, de structura țesuturilor aflate pe traseul de circulație a curentului electric. Alți factori care influențează valoarea rezistenței corpului uman sunt: tensiunea aplicată, durata de trecere a curentului prin țesuturi, temperatura, locul de atingere, suprafața și presiunea de contact, umiditatea, starea psihică etc. Rezistența corpului uman are o comportare nelineară și scade mult pe durata circulației curentului electric, fapt ce determină creșterea gravității electrocutării.

Structura diverselor țesuturi umane este diferită, ori cum structura acestora determină valoarea rezistenței electrice, rezultă că intensitatea curentului electric diferă mult, pe diferite trasee ale corpului uman, condiții în care este foarte dificil de realizat o rețea electrică echivalentă care să modeleze corpul uman. Astfel, prin simplificare, se consideră că rezistența corpului uman are două componente: rezistența pielii și rezistența țesuturilor interne. Rezistența pielii are cea mai mare pondere în rezistența totală a corpului uman.

Pentru a realiza o schemă electrică simplificată a corpului uman, valabilă pentru expunere în curent alternativ, se ia în considerare și capacitatea pielii, rezultând o schemă echivalentă de tipul celei prezentate în figura 2.5.

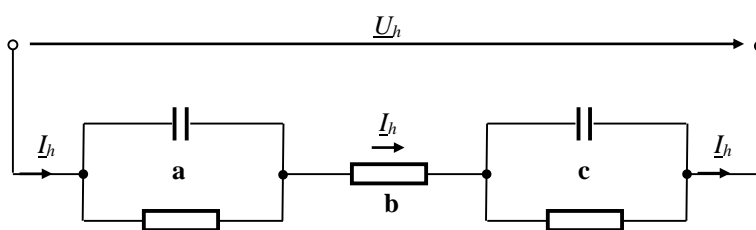


Fig. 2.5. Schema electrică echivalentă simplificată a corpului uman:

a – stratul de piele de la locul de contact cu elementul aflat sub tensiune; **b** – rezistența țesuturilor interne ale corpului uman; **c** – stratul de piele de la locul de contact cu pământul sau cu alt element conductor aflat sub tensiune, în cazul atingerii bipolare.

Dacă pielea este intactă și uscată, rezistența corpului uman este cuprinsă între 40000 și 100000 Ω , putând atinge chiar și valoarea de 500 k Ω . Dacă stratul superior al pielii lipsește la locul de contact, datorită unor leziuni locale, sau dacă conductivitatea pielii este mărită, de către anumiți factori ai mediului înconjurător, atunci rezistența

Electrosecuritate

electrică a corpului uman poate să scadă până la 600 Ω , iar dacă stratul superior al pielii lipsește complet, la locul atingerii, rezistența corpului scade până la 200 Ω .

Influența tensiunii accidentale asupra valorii rezistenței corpului uman se manifestă prin scăderea rezistenței la creșterea tensiunii aplicate, până la o valoare limită, care depinde de grosimea stratului cornos al pielii. La creșterea suplimentară a tensiunii, peste această valoare limită, rezistența corpului uman rămâne aproximativ constantă, fapt explicabil prin fenomenul de străpungere al pielii. În aceste condiții, rezistența corpului este dată doar de rezistența țesuturilor interne, fapt ce explică comportarea similară a corpului omenesc la aplicarea unei tensiuni continue sau a unei tensiuni alternative. Astfel, la tensiuni mai mari de 450 V, curentul continuu este la fel de periculos ca și curentul alternativ de frecvență industrială.

Această dependență a rezistenței corpului uman funcție de tensiune este reflectată de construcția grafică din figura 2.6, familia de curbe fiind dată pentru durata de circulație a curentului electric prin corp și de grosimea stratului cornos al pielii. Poate fi observată descreșterea importantă a valorii rezistenței la creșterea tensiunii și a duratei de circulație a curentului, descreștere foarte evidentă în cazul în care stratul superficial al pielii este mai gros. În cazul unui strat cornos subțire, specific anumitor zone ale corpului, sau în cazul existenței unor leziuni pe suprafața pielii, în zona de contact, valoarea rezistenței este mică, descreșterea acesteia odată cu creșterea tensiunii nemai fiind la fel de evidentă, ca și în cazul anterior.

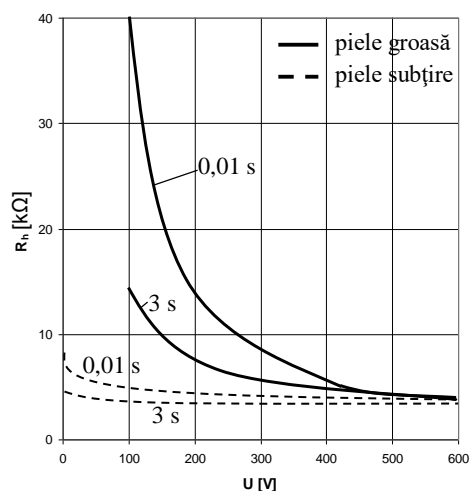


Fig. 2.6. Dependenta rezistenței corpului uman funcție de tensiunea aplicată și de durata de circulație a curentului

În figura 2.7 este reprezentată diagrama de variație a valorilor limită propuse pentru a fi luate în calcul, în cazul rezistenței corpului omenesc, funcție de tensiune, familia de curbe fiind dată pentru gradul de umezire al mâinilor.

Electrosecuritate

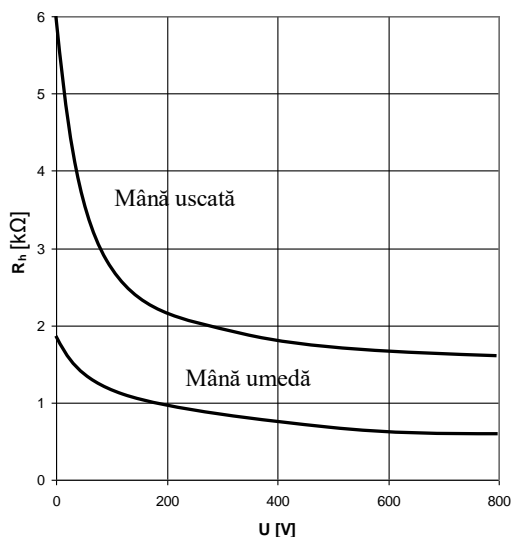


Fig. 2.7. Valori limită pentru rezistența corpului uman, funcție de tensiunea aplicată

Observațiile asupra comportării țesuturilor vii la trecerea unui curent electric au condus la concluzia că fenomenul de străpungere a pielii se inițiază după aproximativ 0,5 secunde de la aplicarea tensiunii și se finalizează după 5 ÷ 6 secunde. Pentru tehnica electrosecurității este, însă, esențială observația conform căreia se înregistrează reducerea continuă a rezistenței corpului omenesc odată cu creșterea tensiunii, de la 10 V la 500 V, după care rezistența poate fi considerată ca fiind constantă. Această concluzie arată că valoarea intensității curentului electric stabilit prin corpul uman, și deci și gravitatea fenomenului electrocutării, cresc în două moduri, în raport cu creșterea tensiunii, astfel: o dată direct proporțional cu tensiunea aplicată, conform legii lui Ohm și, a doua oară, după o lege nelineară, datorită scăderii valorii rezistenței la creșterea tensiunii aplicate.

Prin creșterea suprafeței de contact și a presiunii de contact se observă, de asemenea, reducerea rezistenței corpului uman. În acest fel, se explică faptul că utilajele electrice portabile, la care suprafața de contact și presiunea de contact sunt mai mari decât la utilajele electrice mobile sau fixe, prezintă un grad mai mare de pericol de electrocutare, necesitând măsuri de protecție speciale.

Rezistența organismului și, în mod implicit, intensitatea de prag, se modifică funcție de traseul de circulație a curentului electric prin corp și, deci, funcție de locul de pe corp unde are loc contactul cu elementul aflat sub tensiune. De exemplu, în cazul căii de curent mâini – picioare intensitatea curentului suportabil este de două ori mai mare decât în cazul traseului mână – mână.

La trecerea curentului prin corp în sens longitudinal, pentru o aceeași valoare a tensiunii, se atinge mai repede pragul de fibrilație a inimii decât în cazul trecerii curen-

Electrosecuritate

tului în sens transversal. Explicația constă în faptul că la trecerea curentului în sens longitudinal sunt cuprinși, în canalul de circulație a curentului, mai mulți nervi decât în cazul circulației transversale a acestuia. Periculozitatea trecerii curentului în sens longitudinal, prin corp, este confirmată de statisticile referitoare la producerea unor accidente grave prin electrocutare, 75 % dintre accidentele mortale datorându-se circulației curentului în sens longitudinal, în timp ce numai 14 % dintre accidentele mortale s-au datorat circulației curentului în sens transversal prin corp.

Locurile de contact de mare risc sunt regiunile corpului cu mare sensibilitate nervoasă, așa cum sunt ceafa, gâtul, tâmpilele, regiunea toracică și cea abdominală.

Factorii de natură personală, așa cum sunt starea fizică și cea psihică, nivelul de atenție, caracteristicile fiziologice individuale etc., influențează, uneori chiar în manieră hotărâtoare, valorile intensităților de prag specifice producerii fibrilației inimii. Șocul electric are consecințe mai grave atunci când subiectul se află în stare de oboseală fizică accentuată sau în stare de ebrietate. De asemenea, s-a constatat că femeile și copiii sunt mai sensibili la șocul electric decât bărbații.

În legătură cu predispoziția mai mare sau mai mică la electrocutare, s-a încercat caracterizarea proprietăților electrice ale corpului uman prin așa-numitul *unghi de impedanță*. Astfel considerând impedanța corpului uman ca fiind formată din rezistența și reactanța capacitivă a acestuia, poate fi determinată valoarea *unghiului de impedanță*, notat cu δ în figura 2.8.

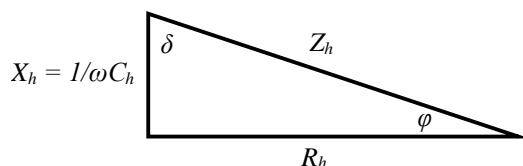


Fig. 2.8. Triunghiul impedanței corpului uman

În literatura de specialitate se dau rezultate referitoare la unghiul complementar, tangenta acestui unghi:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{1}{R_h \omega C_h} \quad (2.4)$$

fiind măsurată cu punți Kehltrausch. În urma unor astfel de măsurători rezultă

- $\operatorname{tg} \varphi = 0,1555$ - pentru bărbați și
- $\operatorname{tg} \varphi = 0,1144$ - pentru femei, cu variații cuprinse între $\pm 0,010$.

Acest indice crește proporțional cu vârsta, de la 15 ani la 20 ani, pentru copii având vârste de 7 ani indicele având valoarea de numai 0,08, de unde și sensibilitatea mult mai mare a copiilor decât a adulților.

Electrosecuritate

Factorul surpriză are un rol important în gravitatea electrocutării. S-a constatat că s-au produs decese la expuneri de foarte scurtă durată și la intensități relativ mici ale curentului prin corp, atunci când omul nu se aștepta să fie supus acțiunii curentului electric.

2.2.6. Parametri ai mediului înconjurător

Parametrii mediului înconjurător își manifestă acțiunea, în timpul electrocutării, astfel:

- **temperatura mediului** determină un anumit grad de sudorație a corpului, astfel încât creșterea temperaturii determină creșterea sensibilității omului în raport cu trecerea curentului electric;
- **umiditatea** acționează, în mod direct, în sensul micșorării rezistenței electrice a corpului, determinând creșterea sensibilității la trecerea curentului electric;
- **presiunea atmosferică** are și ea o anumită influență asupra sensibilității organismului la șoc electric, înregistrându-se creșterea sensibilității la scăderea presiunii atmosferice;
- **concentrația de oxigen și dioxid de carbon din aerul inspirat** pot avea o anumită influență, mai ales în cazul producerii unui stop respirator;
- **câmpul electric** determină o modificare a reacției organismului, modificare observabilă mai ales înaintea producerii furtunilor și la persoanele care lucrează în instalații electrice de înaltă tensiune; această modificare se manifestă printr-o ușoară reducere a sensibilității la șoc electric;
- **câmpul magnetic terestru**, în perioada de maxim a variațiilor sale ciclice cu perioada de 11 ani, și furtunile magnetice determină creșterea sensibilității organismului la trecerea curentului electric.

Bibliografie selectivă

- [1]. Istrate M., *Electrosecuritate*, Editura Cerami, Iași, 2007, ISBN 978-973-667-274-3
- [2]. Cadick J., Capelli-Schellpfeffer M., Neitzel D., *Electrical Safety Handbook*, McGraw- Hill, 2006, ISBN 0-07-145772-0.
- [3]. Darabont A., Pece Ș., *Protecția muncii – manual pentru învățământul universitar*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1996, ISBN 973-30-4256-0
- [4]. Sufrim M., *Protecția împotriva tensiunilor accidentale*, Editura Tehnică, București, 1967.
- [5]. Vasilache G., *Sisteme de protecție împotriva tensiunilor electrice accidentale*, Editura Tehnică, București, 1980.

Electrosecuritate

- [6]. ***, STAS 2612-87, *Protecția împotriva electrocutărilor – Limite admise.*
- [7]. ***, *Norme generale de protecție a muncii*, Ministerul Muncii și Solidarității Sociale, Ministerul Sănătății și Familiei, 2002, ISBN 973-85137-1-5.
- [8]. ***, STAS 12604/5-90, *Protecția împotriva electrocutărilor. Instalații electrice fixe. Prescripții de proiectare, execuție și verificare.*
- [9]. ***, *Electrical installation guide According to IEC International Standards*, Schneider Electric, 2005.
- [10]. ***, *Manualul instalațiilor electrice*, Schneider Electric, 2002.