

Ministerul Transporturilor - MT - Normativ din 12 august 2008

Normativul feroviar NF nr. 75-002:2008 privind "Infrastructură feroviară - Instalații fixe - Tracțiune electrică - Conductor de protecție principal - Partea 2: Calcul electric. Cerințe" din 12.08.2008

În vigoare de la 03 octombrie 2008

Publicat în Monitorul Oficial, Partea I nr. 636 din 03 septembrie 2008. Formă aplicabilă la 03 august 2026.

Normativul feroviar are caracter obligatoriu.

PREAMBUL

Prezentul normativ feroviar stabilește cerințele și metodologia pentru calculul electric al conductorului de protecție principal și este folosit la lucrările de proiectare, reparare și exploatare a instalațiilor de protecție împotriva șocurilor electrice cauzate de defecte de izolații pe liniile de contact aeriene din instalațiile fixe de tracțiune electrică.

Cerințele precizate în metodologia de calcul din acest normativ se referă la:

- conductorul de protecție principal, care nu întoarce curentul de tracțiune (sau o parte din acest curent) la substația de tracțiune electrică. În România acest tip de conductor poartă denumirea de conductor colector, având condițiile de utilizare reglementate în normativul ID - 33; acest conductor este parcurs doar de curenții de scurtcircuit care apar ca urmare a unui defect de izolație (de exemplu defectarea unuia dintre izolatoarele de pe stâlpii liniei de contact aeriene, având armăturile metalice legate de conductorul de protecție principal);
- conductorul de protecție principal, care în regim normal de funcționare întoarce o parte din curentul de tracțiune la substația care alimentează zona de cale ferată electrificată, având condițiile de utilizare prevăzute în SR EN 50119, SR EN 50122-1; acest tip de conductor de protecție principal este parcurs și de curenții de scurtcircuit datorăți eventualelor defecte de izolații.

Cifrele din interiorul parantezelor drepte, menționate în cuprinsul prezentului normativ feroviar, reprezintă numărul de ordine al documentelor de referință din cap. 6.

1. Generalități

1.1. Introducere

Utilizarea conductorului de protecție principal, ca măsură de prevedere pentru protecția împotriva șocurilor electrice cauzate de atingerea indirectă a unor părți conductoare accesibile, care se află la o distanță mai mică de 5 m de axa căii ferate electrificate (în sistemele 1x25 kV, 50 Hz și 2x25 kV, 50 Hz) este reglementată de documentele normative [11], [16].

Conductorul de protecție principal conectează una sau mai multe construcții metalice (lucrări de artă, elemente de susținere a liniei de contact aeriene, armături etc.), individual sau în grup, la unul dintre următoarele obiecte: priză de pământ, șină, priză mediană a unei bobine de joantă, priză mediană a unei bobine de joantă suplimentară.

Conductorul de protecție principal este suspendat pe stâlpii liniei de contact aeriene cu ajutorul unor cleme de suspendare (cleme tip șa), fixate de stâlp cu ajutorul unor semibride metalice. În tunelurile de cale ferată conductorul de protecție principal se fixează pe peretele de beton al acestora la nivelul liniei de contact.

Conexiunile electrice dintre armăturile (părților conductoare accesibile) care sunt protejate și conductorul de protecție principal se efectuează prin intermediul clemelor de legătură electrică.

În tracțiunea electrică se utilizează două tipuri de conductor de protecție principal:

- conductorul de protecție principal pentru legarea individuală sau colectivă la pământ a părților conductoare accesibile;
- conductorul de protecție principal utilizat atât pentru legarea individuală sau colectivă la pământ a părților conductoare accesibile, cât și pentru a întoarce o parte a curentului de tracțiune la substația de tracțiune electrică feroviară.

În cazul unui defect de izolație la unul dintre suporturile liniei de contact aeriene, ale cărui armături sunt legate la conductorul de protecție principal, acesta din urmă va fi parcurs de curentul de scurtcircuit, punând la pământ partea conductoare accesibilă care a ajuns accidental sub tensiune.

1.2. Obiect

1.2.1. Prezentul normativ feroviar stabilește cerințele de bază pentru calculul electric al conductorului de protecție principal din componența instalațiilor de protecție împotriva șocurilor electrice prin atingere indirectă, pentru sistemele de tracțiune electrică 1x25 kV, 2x25 kV, 50 Hz, în scopul:

- determinării solicitării termice a conductorului în regimul permanent și în regim de scurtă durată;
- determinării tensiunilor de atingere (de calcul) dintre părțile conductoare accesibile legate la conductorul de protecție principal și șinele de cale ferată pentru regimurile de funcționare a instalațiilor fixe de tracțiune electrică.

1.2.2. Calculul mecanic al conductorului de protecție principal nu face obiectul prezentului normativ feroviar.

1.3. Domeniu de aplicare

1.3.1. Calculul electric al conductorului de protecție principal reglementat de prezentul normativ feroviar este utilizat, atât în faza de proiectare și de realizare a instalațiilor noi de protecție împotriva șocurilor electrice prin atingere indirectă a părților conductoare accesibile din cale și vecinătate, cât și la lucrările de exploatare și întreținere a instalațiilor de protecție existente, cu ocazia reparațiilor capitale, reconstrucțiilor sau modernizărilor acestor instalații.

Acest calcul se efectuează prin modelarea matematică a elementelor de circuit (transformatoare de tracțiune, linie de contact aeriană, conductor de protecție principal, obiecte legate la conductorul de protecție principal, bobină de joantă, cale ferată, priză de pământ) prin scheme echivalente și rezolvarea sistemelor de ecuații care stau la baza fenomenelor electromagnetice pentru fiecare instalație de protecție care folosește conductor de protecție principal.

1.3.2. Prevederile prezentului normativ feroviar se aplică pentru calculul electric al:

a) conductorului de protecție principal (denumit în România conductor colector) care este utilizat pentru legarea, colectivă sau individuală, la pământ a obiectelor metalice accesibile aflate la o distanță mai mică de 5 m față de axa căii ferate (care în regim de funcționare normală nu sunt sub tensiune, dar care în urma unui defect de izolație pot ajunge sub tensiune); acest conductor se poate utiliza pentru sistemele de alimentare cu energie electrică 1x25 kV și 2x25 kV, 50 Hz, în vederea reducerii tensiunilor de atingere între obiectele metalice accesibile legate la acest conductor și șinele de cale ferată;

b) conductorului de protecție principal utilizat atât în scopul precizat la lit. a), cât și pentru întoarcerea curentului de tracțiune; un astfel de conductor poate fi folosit în cazul sistemului de alimentare 1x25 kV, 50 Hz, în scopul diminuării tensiunilor electrice șină-pământ de referință și tensiunilor de atingere între obiectele metalice accesibile (legate la acest tip de conductor) și șinele de cale ferată, în cazul unui defect de izolație.

1.3.3. Prevederile prezentului normativ feroviar nu se aplică în instalațiile de protecție pentru tracțiunea electrică în curent continuu.

1.4. Clasa de risc

Lucrările necesare execuției, reparării și întreținerii instalației de protecție din care face parte conductorul de protecție principal au clasa de risc 1A.

1.5. Durata normală de funcționare

Instalațiile noi de protecție, din care face parte conductorul de protecție principal, au durata normală de funcționare de 24-36 de ani.

1.6. Abrevieri

În textul prezentului normativ tehnic feroviar se utilizează următoarele abrevieri:

BJ - bobină de joantă;

BJS - bobină de joantă suplimentară;

CP - cablu purtător;

CPP - conductor de protecție principal (poate fi de tip CPPLP sau CPPLPICT);

CPPLP - conductor de protecție principal utilizat pentru legarea individuală și colectivă la pământ a obiectelor metalice accesibile; acest tip de conductor nu întoarce curentul de tracțiune la STEF;

CPPLPICT - conductor de protecție principal utilizat pentru legarea individuală și colectivă la pământ a obiectelor metalice accesibile și pentru întoarcerea curentului de tracțiune la STEF;

FC - fir de contact;

HGR - hotărâre a Guvernului României;

IFTE - instalații fixe de tracțiune electrică;

LC - linie de contact;

LCA - linie de contact aeriană;

LEA - linie electrică aeriană;

PS - post de secționare a liniei de contact;

PEN - conductor legat la pământ care îndeplinește simultan funcția de conductor de protecție și de conductor neutru;

PEM - conductor care îndeplinește simultan funcția de conductor de protecție și de conductor de priză mediană;

PEL - conductor care îndeplinește simultan funcția de conductor de protecție și de conductor de linie;

SCB - Semnalizare Centralizare și Bloc de Linie Automat;

SEN - Sistemul Electroenergetic Național;

STEF - Substație de tracțiune electrică feroviară;

IMVS - Releu electromagnetic de impulsuri.

2. Definiții

Pentru nevoile prezentului normativ feroviar, termenii de specialitate se definesc după cum urmează:

2.1. Instalații fixe de tracțiune electrică

2.1.1. Echipament electric [19] - orice dispozitiv utilizat pentru scopuri ca producerea, transformarea, transportul, distribuția, acumularea sau utilizarea energiei electrice (de exemplu: generatoare și motoare electrice, transformatoare, aparataj de comutație, aparate de măsurare, dispozitive de protecție, accesorii pentru pozare, aparate de utilizare).

2.1.2. Instalație electrică [19] - ansamblu de echipamente electrice asociate în vederea unei utilizări date și având caracteristici coordonate.

2.1.3. Substație de tracțiune electrică feroviară STEF [16] - instalație a cărei principală funcție este să alimenteze sistemul de linie de contact și a cărei tensiune de alimentare primară și în anumite cazuri frecvența este transformată la tensiunea și frecvența liniei de contact.

2.1.4. Stație de comutație (de tracțiune) [16] - instalație de la care energia electrică poate fi distribuită spre diferite secțiuni de alimentare sau de la care diferite secțiuni de alimentare pot fi conectate, deconectate ori interconectate.

2.1.5. Secțiune de alimentare [16] - secțiune a sistemului de alimentare cu energie pentru tracțiunea electrică care poate fi izolată de alte secțiuni sau de fiderile sistemului prin intermediul aparatelor de comutație.

2.1.6. Fider [16] - linie electrică între linia de contact și o substație de tracțiune electrică feroviară sau o stație de comutație.

2.1.7. Punct de alimentare [16] - punct în care fiderile sau fiderile de linie (de pe stâlpii liniei de contact) sunt conectate la linia de contact.

2.1.8. Fider de linie [16] - conductor aerian suspendat pe aceeași structură cu LCA pentru a alimenta puncte de alimentare succesive.

2.2. Linie de contact aeriană

2.2.1. Linie electrică aeriană (LEA) - instalație montată în aer liber, care servește la transportul și distribuția energiei electrice și este alcătuită din conductoare, izolatoare, cleme, armături, fundații și instalații de legare la pământ.

2.2.2. Linie de contact (LC) [18] - ansamblu de conductoare pentru alimentarea cu energie electrică a vehiculelor prin intermediul echipamentului de captare a curentului.

2.2.3. Linie de contact aeriană (LCA) [18] - linie de contact ale cărei conductoare sunt plasate deasupra sau lateral față de limita superioară a gabaritului vehiculelor, care alimentează vehiculele cu energie electrică prin intermediul echipamentului pentru captarea curentului montat pe acoperișul acestora.

2.2.4. Echipamentul LCA - ansamblul de conductoare, izolatoare, cleme și armături, montat pe stâlpii LCA.

2.2.5. Conductoarele LCA - firul de contact și conductoarele-funie întinse liber sau tensionate între punctele de prindere la stâlpi ori alte construcții speciale, indiferent dacă sunt sau nu sub tensiune în regim normal de funcționare (de exemplu: firul de contact, cablul purtător, conductorul de protecție principal, fiderul de linie).

2.2.6. Conductoarele active ale LCA - conductoarele care servesc drept căi de curent pentru transportul sau distribuția energiei electrice de la substațiile de tracțiune electrică feroviară la consumatorii electrici care, în regim normal de funcționare, se află sub tensiune (de exemplu: firul de contact, cablul purtător, conductorul de întărire, fiderul de linie).

2.2.7. Cablu purtător [16] - conductor longitudinal care susține firul sau firele de contact direct ori indirect.

2.2.8. Fir de contact [10], [16] - conductor electric al liniei de contact aeriene cu care captatorul de curent se află în contact.

2.2.9. Stâlp LCA [16], [18] - suport vertical, confecționat dintr-o bucată de lemn, beton, oțel etc. sau dintr-o structură de zăbrele metalice, fixat lateral față de calea de rulare, în sol, direct sau prin intermediul unei fundații.

2.2.10. Clemă - conector și partea din conductorul activ ori de protecție care se află în contact intim cu conectorul, realizat prin presare sau orice alt mijloc mecanic.

2.2.11. Armături - dispozitive cu ajutorul cărora se assemblează și se montează conductoarele, izolatoarele și alte accesorii ale liniilor electrice.

2.3. Circuit de întoarcere - Curent de tracțiune de întoarcere

2.3.1. Circuit electric [19] - ansamblu de dispozitive sau mediile prin care poate circula curentul electric.

2.3.2. Circuit de întoarcere [18] - toate conductoarele care formează în mod intenționat o cale pentru curentul de tracțiune de întoarcere.

NOTĂ:

Conductoarele pot fi, de exemplu: șinele de rulare, conductoare de protecție (de legare la pământ), cabluri de întoarcere, șina pentru întoarcerea curentului.

2.3.3. Conductor de întoarcere [18] - orice parte a circuitului de întoarcere.

2.3.4. Curent de tracțiune de întoarcere [18] - suma curenților de întoarcere la sursa de alimentare (substație sau vehicul cu frânare recuperativă).

2.3.5. Curent de dispersie (de fugă) - curent electric care, în condiții normale de funcționare, parcurge alte căi decât cele prevăzute.

2.3.6. Conductor de protecție (PE) [19] - un conductor utilizat pentru realizarea protecției împotriva șocurilor electrice.

NOTĂ:

Un astfel de conductor leagă mase cu:

- alte mase;
- o priză de pământ;

- un conductor de nul sau un alt conductor legat la pământ (masă);
- o parte conductoare străină;
- dispozitive de protecție.

2.3.7. Conductor de legare la pământ [19] - conductor care asigură o cale conductoare sau o parte a unei căi conductoare, între un punct dat al unei rețele, al unei instalații ori al unui echipament și o priză de pământ.

2.3.8. Conductor de protecție de ramificație - un conductor prin care se stabilește legătura electrică dintre o masă și un conductor de protecție principal (de exemplu: legătura electrică de conectare la conductorul de protecție principal a armăturilor de pe un stâlp al LCA).

2.3.9. Conductor de protecție principal - un conductor care conectează colectiv la pământ sau la șinele de rulare un număr de stâlpi prin intermediul conductoarelor de protecție de ramificație, pentru a proteja oamenii și instalațiile în cazul unui defect de izolație. Poate fi, de asemenea, folosit drept conductor de întoarcere a curentului de tracțiune.

NOTĂ:

Din punct de vedere funcțional conductorul de protecție principal poate fi:

- conductor de protecție principal care nu întoarce curentul de tracțiune (sau o parte din acest curent) la substația de tracțiune electrică (în România acest tip de conductor poartă denumirea de conductor colector, având condițiile de utilizare reglementate de [16]); acest conductor este parcurs doar de curenții de scurtcircuit care apar ca urmare a unui defect de izolație (de exemplu defectarea unuia dintre izolatoarele de pe stâlpii LCA, având armăturile legate la conductorul de protecție principal); în textul prezentului normativ feroviar acest conductor va fi simbolizat cu CPPLP;
- conductor de protecție principal care în regim normal de funcționare întoarce o parte din curentul de tracțiune la substația de tracțiune electrică ce alimentează zona de cale ferată electrificată, având condițiile de utilizare prevăzute de [13]; acest tip de conductor de protecție principal este parcurs și de curenții de scurtcircuit datorăți eventualelor defecte de izolație și este simbolizat în textul prezentului normativ feroviar cu CPPLPCT.

2.3.10. Cablu de întoarcere [16] - conductor de întoarcere reprezentând o parte a circuitului de întoarcere și care conectează restul circuitului de întoarcere la substația de tracțiune electrică.

2.3.11. Rezistență șină-pământ - rezistența electrică de dispersie dintre șina de rulare și pământ.

2.3.12. Conductanța pe unitate de lungime șină-pământ - valoarea inversă a rezistenței șină-pământ pe unitate de lungime.

2.3.13. Rezistența de izolare a balastului [21] - rezistența electrică a traverselor și a balastului care influențează reglajul circuitului de cale, determinată prin calcule și/sau măsurători între cele două șine de rulare ale unei căi [Ohm. km].

2.4. Circuite de cale

2.4.1. Legătură longitudinală la joanta șinei [21] - conductor care asigură continuitatea electrică a unei șine la o joantă.

2.4.2. Joantă izolantă [21] - joantă mecanică, care poate fi și lipită, care asigură izolarea longitudinală a șinei în raport cu șina adiacentă.

2.4.3. Circuit de cale de curent alternativ [21] - circuit electric care include șinele unei secțiuni de cale ferată la capetele căreia sunt conectate, în mod obișnuit, o sursă de curent alternativ la unul dintre capete și un dispozitiv de detectare la celălalt capăt pentru a detecta dacă această secțiune de cale este liberă sau ocupată de un vehicul.

NOTĂ:

Într-un sistem de semnalizare continuă, circuitul de cale poate fi folosit la transmiterea informației dintre sol și tren.

2.4.4. Secțiune de cale izolată [21] - parte dintr-o cale de rulare acolo unde una sau fiecare secțiune de șină este izolată.

2.4.5. Bobină de joantă (impedanță) [21] - dispozitiv folosit în sistemele de tracțiune electrică, în mod obișnuit la capetele unui circuit de cale bifilar și destinat să asigure trecerea curentului de întoarcere de tracțiune fără a fi incompatibil cu prezența joantelor izolante.

2.4.6. Bobină de joantă suplimentară - bobină de joantă care se montează, între capetele unui circuit de cale bifilar și nu numai, în scopul conectării colective sau individuale a părților conductoare accesibile la pământul sistemului de tracțiune definit la pct. 2.5.1.3.

2.4.7. Siguranța în funcționare - rezultată a unui ansamblu de caracteristici, cum sunt: durabilitatea, fiabilitatea, mentenabilitatea, disponibilitatea, definite în [22].

2.5. Instalații de legare la pământ

2.5.1. Pământ [19]

NOTĂ:

Noțiunea de pământ se referă la planetă și la toate elementele fizice componente.

2.5.1.1. Pământ de referință, sinonim: sol neutru [19] masă a pământului considerată conductoare, al cărui potențial electric este considerat în mod convențional egal cu zero, care este în afara influenței tuturor instalațiilor de legare la pământ.

2.5.1.2. Pământ local [19] - partea de pământ în contact electric cu o priză de pământ, al cărui potențial electric nu este în mod obligatoriu egal cu zero.

2.5.1.3. Pământul sistemului de tracțiune electrică [16] - șinele de rulare, când acestea sunt folosite ca un circuit de întoarcere și sunt conectate la pământ în mod intenționat. El include toate părțile conductoare legate la șinele de rulare.

2.5.1.4. Pământul din tunel [16] - tije de ranforsare interconectate electric în cazul tunelurilor din beton armat și părțile metalice interconectate conductiv în cazul altor moduri de construcție a tunelurilor.

NOTĂ:

În cazul sistemelor de tracțiune electrică de curent alternativ monofazate, pământul tunelului este conectat la șinele de rulare, formând astfel o parte a pământului sistemului de tracțiune care poate fi suplimentată prin conexiuni la pământ externe.

2.5.2. Priză de pământ

2.5.2.1. Priză de pământ-electrod de pământ [19] - parte conductoare care poate fi încorporată într-un mediu conductor, de exemplu beton sau cărbune, în contact electric cu pământul.

2.5.2.2. Tensiunea prizei de pământ - tensiune ce apare între priza de pământ și pământul de referință la trecerea unui curent prin instalația de legare la pământ.

2.5.2.3. Rezistența de dispersie a unei prize de pământ:

1. rezistența electrică a pământului între electrozii prizei de pământ și pământul de referință;

2. raportul dintre tensiunea prizei de pământ și curentul de punere la pământ prin priză.

2.5.3. Legare la pământ de protecție [19] - acțiune de legare la pământ a unui punct sau a mai multor puncte ale unei rețele, ale unei instalații ori ale unui echipament pentru asigurarea securității electrice.

2.5.4. Legare la pământ de serviciu (funcțională) [19] - legare la pământ a unui punct sau a mai multor puncte ale unui circuit ori ale unei instalații sau ale unui echipament pentru alte scopuri decât cele de asigurare a securității electrice.

2.5.5. Împământare la pământul sistemului de tracțiune [16] - conectare între părți conductoare și pământul sistemului de tracțiune.

2.5.6. Împământare directă la pământul sistemului de tracțiune [16] - conectare directă între părți conductoare și pământul sistemului de tracțiune.

NOTĂ:

Împământarea prin bobină de joantă, necesară din motive care depind de circuitul de cale, este considerată a fi împământare directă la pământul sistemului de tracțiune.

2.5.7. Împământare deschisă a sistemului de tracțiune [16] - conectare a unor părți conductoare la pământul sistemului de tracțiune printr-un dispozitiv de limitare a tensiunii sau printr-un întreruptor care realizează o conexiune conductoare temporară ori permanentă, dacă este depășită valoarea-limită a tensiunii.

2.5.8. Instalație de legare la pământ [19] - ansamblu de legături electrice și de dispozitive utilizate pentru a lega la pământ, separat ori colectiv, o rețea, o instalație sau un echipament.

2.5.9. Parte activă [19] - conductor sau parte conductoare destinată a fi sub tensiune în funcționare normală, inclusiv conductorul neutru, însă, prin convenție, exclusiv conductorul PEN, conductorul PEM sau conductorul PEL.

NOTĂ:

Acest termen nu implică în mod obligatoriu un risc de șoc electric.

2.5.10. Parte activă periculoasă [19] - parte activă care poate provoca, în anumite condiții, un șoc electric vătămător.

NOTĂ:

În instalațiile de înaltă tensiune o tensiune periculoasă poate fi prezentă la suprafața unei izolații solide. În acest caz suprafața este considerată parte activă periculoasă.

2.5.11. Parte conductoare accesibilă (masă într-o instalație) [19] - parte conductoare a unui echipament, care poate fi atinsă și care în mod normal nu este sub tensiune, dar poate ajunge sub tensiune când izolația de bază este defectă.

NOTĂ:

O parte conductoare a unui echipament electric care poate fi pusă sub tensiune numai prin contact cu o masă care ajunge sub tensiune nu este considerată ca o masă.

2.5.12. Carcasă de protecție (electrică) [19] - carcasă care înconjoară părțile interne ale echipamentelor și care împiedică, în toate direcțiile, accesul la părțile active periculoase.

NOTĂ:

În plus, carcasa asigură în general o protecție împotriva influențelor interne și externe, de exemplu intrarea prafului, a apei, sau o protecție împotriva șocurilor mecanice.

2.5.13. Element conductor străin de instalația electrică - parte conductoare care nu face parte din instalația electrică și care poate avea un potențial electric, în general potențialul electric al pământului.

2.5.14. Protecție de bază [19] - protecția împotriva șocurilor electrice în absența unui defect.

NOTĂ:

Protecția de bază trebuie să cuprindă una sau mai multe prevederi care, în condiții normale de funcționare, trebuie să împiedice orice atingere cu părțile active periculoase (de exemplu: izolație de bază, bariere sau carcase, obstacole, amplasare în afara zonei de accesibilitate la atingere, limitare a tensiunii, distribuție a potențialului etc.).

2.5.15. Protecție în caz de defect [19] - protecție împotriva șocurilor electrice în condiții de simplu defect (de exemplu: izolație suplimentară, legături echipotențiale de protecție, protecție prin ecran, indicarea defectelor și deconectare în instalații și rețele de înaltă tensiune, întrerupere automată a alimentării, distribuția potențialului etc.).

2.5.16. Atingere indirectă [16] - contactul persoanelor sau animalelor cu părțile conductoare accesibile puse sub tensiune ca urmare a unui defect de izolație.

2.6. Tensiuni de atingere și de pas - curenți prin corpul omenesc

2.6.1. Șoc electric - efectul fiziologic al trecerii curentului electric prin corpul uman sau al unui animal.

2.6.2. Tensiune de atingere prezumată (de calcul) [19] - tensiunea care apare între părțile conductoare simultan accesibile când aceste părți conductoare nu sunt atinse de o persoană sau de un animal.

2.6.3. Limita tensiunii de atingere - valoarea maximă a tensiunii de atingere prezumate care este permis să fie menținută pentru un timp nelimitat, în condiții specificate de influențe externe.

2.6.4. Tensiune de atingere efectivă, $U(T)$ [19] - tensiune între părțile conductoare atinse simultan de o persoană sau de un animal.

NOTĂ:

Valoarea tensiunii de atingere efectivă poate fi influențată apreciabil de impedanța persoanei sau a animalului care vine în contact electric cu aceste părți conductoare.

2.6.5. Curent de atingere [19], [20] - curent electric care trece prin corpul uman sau al unui animal când acest corp este în contact cu una ori mai multe părți conductoare accesibile ale unei instalații sau ale unui echipament.

2.6.6. Tensiune de pas [19] - tensiunea între două puncte de pe suprafața pământului la distanța de 1 m unul de celălalt, care este considerată ca lungime de pas a unei persoane.

2.6.7. Potențialul șinei [16] - tensiunea care apare între șinele de rulare și pământul de referință în condiții de exploatare când șinele de rulare sunt utilizate pentru întoarcerea curentului de tracțiune și pentru întoarcerea curentului în condiții de defect.

2.6.8. Potențialul conductorului de protecție principal - tensiunea dintre conductorul de protecție principal și pământul de referință.

2.6.9. Creșterea potențialului pământului, EPR - tensiunea dintre un sistem de legare la pământ și pământul de referință.

2.6.10. Tensiune accesibilă $U(a)$ - acea parte a potențialului șinei în condiții normale de exploatare la care o persoană poate fi supusă, calea conductivă prin corp fiind în mod convențional de la o mână la ambele picioare sau de la o mână la cealaltă mână (distanța orizontală până la partea atinsă fiind de 1 m).

2.6.11. Impedanța internă a corpului omenesc, $Z(i)$ [20] - impedanța dintre doi electrozi în contact cu două părți ale corpului omenesc, neglijând impedanțele pielii.

2.6.12. Impedanța pielii, $Z(p)$ [20] - impedanța dintre un electrod aflat pe piele și țesuturile conductive aflate sub piele.

2.6.13. Impedanța totală a corpului omenesc, $Z(t)$, [20] - suma vectorială a impedanței interne și impedanței pielii.

2.7. Regimuri de funcționare

2.7.1. Regim nominal

2.7.1.1. Tensiunea nominală a LCA, $U(n)$, [15] - valoarea efectivă a tensiunii dintre conductoarele active și pământul sistemului de tracțiune electrică, prin care este definită LCA.

2.7.1.2. Intensitatea curentului nominal a LCA, $I(n)$, [15] - valoarea efectivă a intensității curentului de tracțiune pentru care a fost proiectată și construită linia de contact aeriană.

2.7.2. Regim permanent [16] - regim de funcționare a instalațiilor electrice care durează mai mult de 300 s.

NOTĂ:

În prezentul normativ feroviar se face deosebire între regimul permanent forțat cu durata cuprinsă între 300 s și 600 s, care produce căderile de tensiune în LCA limitate de [15] și regimul permanent de funcționare continuă cu durata mai mare de 600 s.

2.7.2.1. Intensitatea curentului nominal de regim permanent (de funcționare continuă) pentru un conductor - valoarea efectivă a intensității curentului maxim admis de regim permanent de funcționare continuă al unui conductor, definită pentru o temperatură inițială egală cu temperatura maximă a mediului ambiant de 35-40°C, o temperatură finală a conductorului de 70-80°C, la o viteză a vântului perpendicular pe conductor de 0,6 m/s.

2.7.2.2. Intensitatea curentului nominal de regim permanent forțat pentru un conductor - intensitatea curentului maxim admis prin conductor pentru o durată de 10 minute, în prezența temperaturii ambiante de 35-40°C, temperatura inițială a conductorului fiind de 70-80°C, reprezentând temperatura finală a regimului definit la pct. 2.7.2.1. Temperatura maximă admisă a conductorului la sfârșitul regimului forțat nu trebuie să depășească 100°C.

2.7.3. Regim temporar [16] - regim de funcționare a instalațiilor electrice care durează între 0,5 s și 300 s, inclusiv.

2.7.4. Regim de scurtă durată [16] - regim de funcționare a instalațiilor electrice care durează cel mult 0,5 s.

2.7.5. Regim de defect electric al instalațiilor fixe de tracțiune electrică

2.7.5.1. Condiție de defect - condiție care apare în mod neintenționat.

2.7.5.2. Condiții de simplu defect - defectele simple trebuie luate în considerare dacă:

- o parte activă accesibilă nepericuloasă devine parte activă periculoasă (de exemplu, ca urmare a unui defect la limitarea curentului de atingere în regim stabilizat și a sarcinii electrice); sau dacă
- o parte conductoare accesibilă care în condiții normale nu este sub tensiune devine activă (de exemplu ca urmare a unui defect între izolația de bază și mase); sau dacă
- o parte activă periculoasă devine accesibilă (de exemplu, prin defect mecanic al unei carcase).

2.7.5.3. Curent de defect - curentul maxim care trece prin linia de contact aeriană în condiții de defect între echipamentul sub tensiune și pământ, în interiorul unei scurte perioade de timp definite explicit.

2.7.5.4. Scurtcircuit - cale conductivă intenționată sau accidentală între două sau mai multe puncte într-un circuit, care face ca tensiunile dintre aceste puncte să fie relativ scăzute.

NOTĂ:

O astfel de cale conductivă, fie între mai multe conductoare, fie între un conductor și pământ, fie între un conductor și părți conductoare accesibile ale sistemului de tracțiune electrică, este considerată scurtcircuit.

2.7.5.5. Intensitatea curentului de scurtcircuit, la locul scurtcircuitului, $i(sc)$ - valoarea instantanee a intensității curentului electric care parcurge scurtcircuitul.

2.7.5.6. Durata maximă de deconectare a unui circuit defect, $t(k)$ [s] - cel mai lung timp între începutul unui scurtcircuit și separarea completă, definitivă a contactelor unui întreruptor. Acest timp este suma dintre durata de timp maximă de acționare a protecției prin relee (la care se adaugă o eventuală temporizare introdusă voit) și cel mai lung timp de deschidere a întreruptorului de circuit pentru secțiunea de alimentare defectă.

2.7.5.7. Intensitatea curentului permanent (stabilizat) de scurtcircuit, $I(k)$ - valoarea efectivă a intensității curentului de scurtcircuit între un punct K al LCA și pământul sistemului de tracțiune, care rămâne după trecerea fenomenelor tranzitorii. Această valoare depinde de caracteristicile rețelei și ale celor de reglaj ale generatoarelor sistemului de energoalimentare.

2.7.5.8. Intensitatea curentului de scurtcircuit prezumat (net), $I(scnet)$ - intensitatea curentului care ar circula dacă scurtcircuitul este înlocuit cu unul ideal printr-o impedanță nulă, care ar scoate din circuit echipamentul, fără nicio modificare a condițiilor de alimentare cu energie electrică.

2.7.5.9. Intensitatea curentului de scurtcircuit simetric, $I(d)$ - valoarea efectivă a intensității componentei simetrice a curentului de scurtcircuit prezumat, la frecvența de exploatare, componenta aperiodică a curentului fiind neglijată. Se determină pentru o întreagă perioadă dacă valoarea intensității curentului alternativ variază.

2.7.5.10. Intensitatea curentului inițial de scurtcircuit, $I(k)''$ - valoarea efectivă a componentei simetrice a intensității curentului alternativ de scurtcircuit prezumat, în momentul producerii scurtcircuitului, dacă impedanța circuitului echivalent de scurtcircuit rămâne constantă.

2.7.5.11. Scurtcircuit departe de generator - un scurtcircuit în timpul căruia valoarea componentei simetrice de curent alternativ rămâne practic constantă. În acest caz curentul inițial de scurtcircuit I_k'' este egal cu valoarea intensității curentului permanent de scurtcircuit I_k .

2.7.5.12. Intensitatea curentului termic echivalent de scurtă durată, $I(ec)$ - valoarea efectivă a intensității curentului având același efect termic și aceeași durată cu cele ale curentului real de scurtcircuit, care poate conține o componentă aperiodică și care poate să descrească cu timpul.

2.7.5.13. Densitatea curentului termic echivalent de scurtă durată, $\delta(ec)$ - raportul dintre intensitatea curentului termic echivalent de scurtă durată și aria secțiunii transversale a conductorului.

2.7.5.14. Intensitatea curentului nominal de ținere de scurtă durată pentru un conductor, $I(ecn)$ - valoarea efectivă a intensității curentului care poate fi suportat de conductor în timpul unui regim de scurtă durată în condiții prescrise de utilizare și de comportament.

2.7.5.15. Scurtă durată nominală, $t(kr)$ - durată de timp pentru care un conductor poate suporta o densitate de curent egală cu densitatea lui de curent nominal de ținere de scurtă durată.

2.7.5.16. Densitatea curentului nominal de ținere de scurtă durată, $\delta(ecn)$ - densitatea curentului în valoare efectivă pe care un conductor o poate suporta pentru scurtă durată nominală a conductorului.

2.7.5.17. Stabilitatea termică a unui conductor de linie electrică aeriană - capacitatea conductorului de a rezista, fără să se degradeze, sub acțiunea solicitărilor termice, în condiții predeterminate de standarde.

3. Condiții tehnice pentru instalațiile care utilizează conductor de protecție principal

3.1. Condiții climatometeorologice

3.1.1. Factori climatometeorologici

La proiectarea și la lucrările de montare și de întreținere a conductorului de protecție principal este necesar să se țină seama de principalii factori climatometeorologici: temperatura aerului, acțiunea vântului, radiația solară maximă, prevăzuți în [13], [14].

3.1.1.1. Valorile temperaturii aerului care se iau în considerare în calculele de proiectare a liniilor de contact aeriene sunt precizate în tabelul 3.1, precum și în [13].

3.1.1.2. Condițiile climatice sunt corespunzătoare clasei 4K2. Valoarea medie anuală a umidității absolute maxime este 25 g.m^{-3} . Temperatura maximă (pentru care umiditatea relativă a aerului este $\geq 95\%$) are valoarea 27°C , prevăzută în [13].

3.1.1.3. Radiația solară maximă are valoarea precizată de [12], [14].

Tabelul 3.1

Zona meteorologică	Temperatura aerului [$^\circ\text{C}$]			
	Media temperaturilor maxime anuale	Media temperaturilor minime anuale	Media mediilor anuale	De formare a chiciurii
Toată țara	40	-33	15	-5
Zone cu altitudini peste 800 m	40	-33	10	-5

3.2. Condiții de conexiune a conductorului de protecție principal la instalațiile de protecție IFTE și la instalațiile SCB

3.2.1. Instalațiile de alimentare cu energie electrică în care se utilizează conductor de protecție principal (CPPLP sau CPPLPICT) este necesar să fie prevăzute cu dispozitive de deconectare automată prin protecția de bază și prin protecția de rezervă împotriva curenților de scurtcircuit.

3.2.2. Alegerea soluției de proiectare a instalațiilor de protecție împotriva șocului electric prin atingere indirectă (CPPLP sau CPPLPICT) se va efectua ținându-se seama de tipul circuitului de cale utilizat pentru zona de cale ferată electrificată respectivă.

3.2.3. În cazul căilor ferate echipate cu circuite de cale monofilare sau neechipate cu circuite de cale, toate șinele de cale ferată se leagă în paralel în dreptul substațiilor de tracțiune electrică, pentru egalizarea curenților de tracțiune.

3.2.4. În cazul căilor ferate duble sau multiple, echipate cu circuite de cale bifilare, în dreptul substațiilor de tracțiune electrică, medianele bobinelor de joantă se leagă în paralel în scopul egalizării curenților de tracțiune.

3.2.5. Limita maximă admisibilă a coeficientului de asimetrie de curent în cele două șine ale unei căi ferate electrificate, echipată cu circuite de cale bifilare și cu conductor de protecție principal, este precizată conform:

- 5% pentru linii echipate cu circuite de cale electronice;
- 10% pentru linii echipate cu circuite de cale cu relee electromagnetice tip IMVȘ.

NOTĂ:

Valorile-limită de mai sus se vor lua în considerare numai în cazul în care proiectantul sau fabricantul circuitului de cale nu prevede valori mai restrictive ale asimetriei de curent în șinele unei căi.

3.2.6. Pentru sistemul de alimentare 1x25 kV și 50 Hz conductorul de protecție principal poate fi de tip CPPLP sau CPPLPICT.

Pentru sistemul de alimentare 2x25 kV, 50 Hz se poate utiliza conductor CPPLP, dar nu este justificată din punct de vedere economic utilizarea conductorului de tip CPPLPICT.

În toate cazurile conductorul de protecție principal se amplasează pe stâlpii (suporturile) care susțin LCA, pentru fiecare fir de cale câte un conductor de protecție principal.

Distanța dintre conductorul de protecție principal și nivelul superior al șinelor și distanțele de izolare în aer între conductorul de protecție principal și conductoarele active ale LCA se vor stabili pe baza prevederilor din [17].

3.2.6.1. Conductorul de protecție principal tip CPPLP se leagă cu unul dintre capete prin intermediul unei legături duble la mediana bobinei de joantă sau la mediana bobinei de joantă suplimentară ori direct la șină, în funcție de tipul circuitului de cale utilizat în secțiunea alimentată, iar capătul aerian al acestuia va fi izolat față de secțiunea de CPPLP adiacentă (figura G.1 din anexa G la prezentul normativ feroviar).

3.2.6.2. Conductorul de protecție principal tip CPPLPICT se leagă prin intermediul unor legături duble la:

- mediana bobinei de joantă sau la mediana bobinei de joantă suplimentară, în cazul utilizării circuitelor de cale bifilare;
- direct la șină, în cazul circuitelor de cale monofilare sau al lipsei circuitelor de cale.

În ambele cazuri legarea se efectuează pe toată lungimea secțiunii alimentate cu energie electrică, asigurându-se continuitatea conductorului CPPLPICT (figura G.2 din anexa G la prezentul normativ feroviar).

Distanța dintre două puncte de legare se stabilește în funcție de valoarea rezistenței de dispersie la pământ a stâlpilor care susțin linia de contact aeriană și de rezistența de izolare a șinelor de cale ferată față de pământ și poate avea valori între 600 și 1.200 m.

3.3. Condiții de legare a părților conductoare accesibile la conductorul de protecție principal

3.3.1. La conductorul de protecție principal se pot lega următoarele părți conductoare accesibile [16]:

- armătura metalică a fiecărui element de susținere a LCA din metal sau din beton armat (prevăzut din fabricație cu bornă și piese pentru legare la instalația de protecție), indiferent de distanța până la axa căii ferate;

- părțile conductoare accesibile care se găsesc la o distanță mai mică de 5 m față de axa căii ferate (de exemplu, podurile metalice, armăturile tunelurilor, carcasele și suporturile metalice ale aparatelor din cale și vecinătatea căii, îngrădiri metalice de protecție, conducte metalice etc.).

Ansamblul părților accesibile va fi legat prin intermediul conductorului de protecție direct la șină ori la mediana bobinei de joantă (sau a bobinei de joantă suplimentară), în funcție de tipul circuitului de cale folosit.

3.3.2. Părțile conductoare accesibile ale LCA, fixate pe peretele tunelurilor, care în mod normal nu sunt sub tensiune, pot fi legate colectiv la circuitul de întoarcere prin intermediul unui conductor de protecție principal.

În cazul în care este utilizat un conductor tip CPPLICT, acesta va avea o secțiune transversală corespunzătoare și va fi interconectat longitudinal și conectat la circuitul de întoarcere conform pct. 3.3.1. Dacă tije de ranforsare ale tunelului au fost construite în secțiuni longitudinale cu spații de aer între ele, fiecare secțiune va fi conectată la șinele de cale ferată sau toate secțiunile vor fi legate între ele și ansamblul lor va fi legat la circuitul de întoarcere a curentului de tracțiune. La dimensionarea tijelor de ranforsare ale tunelului și a conductorului CPPLICT utilizat pentru întoarcerea curentului de tracțiune se vor lua în considerare următorii factori:

a) componenta curentului de tracțiune de întoarcere maxim estimat, care parcurge elementul ce se dimensionează, pentru regimul permanent;

b) componenta curentului de scurtcircuit maxim estimat, care parcurge elementul ce se dimensionează și durata de trecere;

c) aranjamentul geometric al conductoarelor și tijelor de ranforsare în tunel.

În cazul utilizării unui conductor tip CPPLP acesta va fi dimensionat ținându-se seama doar de factorii de la lit. b) și c) de mai sus, secțiunile adiacente de conductor de protecție principal fiind în acest caz izolate.

3.3.3. Valoarea rezistenței de dispersie a stâlpilor, podurilor sau a oricăror alte obiecte metalice (exceptând priza de pământ a STEF) ori a ansamblurilor formate din astfel de obiecte, care se leagă la medianele bobinelor de joantă, normale sau suplimentare, ale circuitelor de cale bifilare, este de cel puțin 2 Ohm, cu respectarea lungimii normale a circuitelor de cale.

Se admite legarea obiectelor a căror rezistență de dispersie este sub 2 Ohm, la medianele bobinelor de joantă, cu condiția micșorării lungimilor circuitelor de cale.

3.3.4. Pe lungimea unui circuit de cale neramificat nu se admit mai mult de 3 bobine de joantă, una dintre acestea având rol de protecție. Bobina de joantă suplimentară nu trebuie să fie la o distanță mai mică de 200 m față de joantele de la capătul circuitului de cale.

3.3.5. Fiderul de întoarcere al substațiilor de tracțiune se va lega în toate cazurile la priza mediană a bobinelor de joantă a două circuite de cale alăturate.

4. Cerințe referitoare la calculul electric al conductorului de protecție principal

4.1. Caracteristicile electrice ale conductoarelor funie utilizate la proiectarea conductorului de protecție principal

4.1.1. Conductoarele-funie utilizate la proiectarea și realizarea conductorului de protecție principal vor îndeplini cel puțin condițiile din standardele naționale și internaționale [1]-[9].

4.1.2. Conductoarele-funie utilizate pot fi confecționate din: aluminiu-oțel, aluminiu, bronz, oțel cuprat.

NOTĂ:

În anexa A sunt date câteva exemple de conductoare electrice care pot fi luate în considerare la confecționarea conductorului de protecție principal.

4.1.3. La proiectarea și realizarea conductorului de protecție principal este necesar să se țină seama de următoarele caracteristici precizate de fabricantul conductorului:

- materialul (materialele) din care sunt fabricate sârmele conductorului-funie;
- diametrul exterior al conductorului-funie, $d(c)$ [mm];
- aria secțiunii nominale a conductorului-funie, S [mm²];
- rezistența specifică a conductorului în curent continuu la 20°C, notată $R(c)$ [Ohm/km];
- coeficientul de variație a rezistenței în curent continuu cu temperatura, $\alpha(c)$ [°C⁻¹];
- intensitatea curentului maxim admis în regim permanent de funcționare continuă, la temperatura inițială ambiantă și la temperatura finală maximă admisă pentru conductorul aflat în acest regim;
- căldura specifică a materialului din care este confecționat conductorul de protecție principal, la 20°C;
- masa pe unitate de lungime pentru conductorul folosit, dacă acesta este confecționat din sârme din același material, și masa stratului conductor, în cazul conductoarelor confecționate din sârme din materiale diferite;
- densitatea materialului conductor, notată d [g/cm³].

4.2. Regimurile electrice de funcționare pentru conductorul de protecție principal

4.2.1. Regimurile electrice de funcționare pentru CPPLP

4.2.1.1. În regimul permanent de funcționare conductorul CPPLP nu este sub tensiune și nu este parcurs de curent.

4.2.1.2. În cazul unui defect al izolației de bază (conturnarea izolației din cauza deteriorării acesteia prin lovire, murdăriei depuse în timp, unei vietăți care ajunge în intervalul dintre cele două armături ale unui izolator de pe stâlp) acest conductor

ajunge sub tensiune (27,5 kV, 50 Hz) și va fi parcurs de curent. Valoarea efectivă maximă a intensității curentului care parcurge conductorul în acest caz este egală cu curentul de scurtcircuit la locul defectului.

Valoarea intensității curentului de scurtcircuit la locul defectului se calculează luându-se în considerare tensiunea electromotoare a generatorului echivalent din sistemul electroenergetic național (SEN-123 kV) și impedanțele schemelor echivalente ale elementelor de circuit aflate între acest generator și locul scurtcircuitului, în condițiile precizate de [36].

4.2.2. Regimurile electrice de funcționare pentru CPPLPICT

4.2.2.1. În regim permanent de funcționare continuă și în regimul permanent forțat de funcționare conductorul CPPLPICT nu este sub tensiune, dar este parcurs de o parte din curentul de întoarcere de tracțiune. Valoarea efectivă a intensității curentului de întoarcere prin CPPLPICT se calculează considerându-se distribuția curentului de sarcină de funcționare continuă în conductoarele LCA care interacționează electromagnetic.

4.2.2.2. În regim permanent forțat de funcționare (cu durata de maximum 10 minute) valoarea efectivă a intensității curentului care parcurge conductorul se calculează pe baza sarcinii de tracțiune maxime de 10 minute, estimată pentru zona unde se montează CPPLPICT, efectuându-se distribuția acesteia în conductoarele LCA care interacționează electromagnetic.

4.2.2.3. În regim de scurtcircuit conductorul CPPLPICT este parcurs de o parte a curentului de scurtcircuit din LCA, determinată prin distribuția acestui curent în conductoarele LCA care interacționează electromagnetic.

4.3. Cerințe privind regimul termic al conductorului de protecție principal

4.3.1. Conductorul de protecție principal CPPLP se dimensionează din punct de vedere termic doar pentru funcționarea în regim de scurtcircuit; temperatura inițială a conductorului este egală cu temperatura mediului ambiant 40°C, durata regimului este reprezentată de timpul maxim necesar deconectării circuitului defect prin protecția de rezervă, iar curentul de scurtcircuit va fi determinat prin calcul. Temperatura finală a conductorului nu trebuie să depășească temperatura maximă admisă dată de fabricant pentru regimul de scurtcircuit.

4.3.2. Conductorul de protecție principal CPPLPICT se dimensionează din punct de vedere termic pentru curenții care îl parcurg în următoarele regimuri:

- în regim permanent de funcționare continuă, la un curent cu valoarea efectivă a intensității cel puțin egală cu valoarea efectivă a intensității componentei curentului permanent de funcționare continuă al LCA; temperatura inițială a conductorului este egală cu temperatura mediului ambiant (40°C), iar temperatura finală maximă admisă a conductorului este precizată de către fabricant (în mod uzual 70°C pentru conductoarele alcătuite numai din sârme de aluminiu și 80°C

pentru conductoarele-funie alcătuite din sârme de aluminiu și din sârme de oțel sau pentru conductoare alcătuite din sârme de cupru);

- în regim permanent forțat de 10 minute, la un curent cu intensitatea cel puțin egală cu intensitatea componentei curentului maxim pentru 10 minute al LCA care parcurge conductorul; temperatura inițială a conductorului este în mod uzual de 70-80°C (temperatura stabilizată de regim permanent de funcționare continuă), temperatura finală maximă admisă a conductorului pentru regimul forțat fiind 100°C;

- în regim de scurtă durată (scurtcircuit), cu durata dată de timpul de deconectare a circuitului defect prin protecția de rezervă t_{pr} , temperatura mediului ambiant fiind 35-40°C, temperatura inițială a conductorului fiind egală cu temperatura stabilizată de regim permanent 70-80°C, iar temperatura maximă admisă a conductorului fiind precizată de fabricant. Aportul curentului prin CPPLPCT la curentul de scurtcircuit este determinat prin calculul electric al sistemului multiconductor. În mod uzual temperatura conductorului la sfârșitul regimului de scurtcircuit nu trebuie să depășească valorile de mai jos:

- 200°C - pentru conductoarele care au în componență numai sârme de aluminiu;
- 300°C - pentru conductoarele care sunt alcătuite numai din sârme de cupru sau bronz și pentru conductoarele care sunt alcătuite din sârme de aluminiu întărite cu sârme de oțel;
- 400°C - pentru conductoarele care sunt alcătuite numai din sârme de oțel.

NOTA 1 : Valorile-limită de mai sus pentru temperatura finală a conductorului de protecție principal în cazul regimului de scurtcircuit sunt valabile dacă nu există pericol de explozie sau de incendiu. Dacă există pericol de explozie, limita maximă admisă a temperaturii conductorului de protecție principal este egală cu temperatura minimă de aprindere a amestecurilor explozive din mediul respectiv.

NOTA 2 : Valorile maxime admise ale intensităților curenților în regimurile de mai sus sunt date în general în standardele de fabricație ale conductoarelor sau în standardele internaționale.

NOTA 3 : Pentru valori diferite ale temperaturilor inițiale și/sau finale ale regimurilor de mai sus se va folosi relația pentru corectarea valorilor intensităților curenților maxim admiși (anexele B și C).

4.3.3. Secțiunea minimă necesară a conductorului de protecție principal S_{min}

4.3.3.1. În cazul utilizării conductorului CPPLP, secțiunea minimă necesară se stabilește ținându-se seama de densitatea de curent maximă admisă precizată de fabricant, pentru materialul din care este fabricat conductorul și pentru regimul de defect precizat la pct. 4.2.1.2.

4.3.3.2. În cazul utilizării conductorului CPPLPICT, aceasta se stabilește ținându-se seama de densitatea de curent maximă admisă precizată de fabricant, pentru materialul din care este fabricat conductorul, pentru regimurile de funcționare precizate la pct. 4.2.2.

4.3.4. Secțiunea maximă admisă $S(\max.ad)$ pentru conductorul de protecție principal și pentru conductoarele de protecție de ramificație este precizată în funcție de materialul conductorului:

- 400 mm^2 pentru conductor rotund sau profile de oțel;
- 400 mm^2 pentru conductor-funie din sârme de oțel;
- 240 mm^2 pentru conductor-funie de oțel-aluminiu sau aliaje de aluminiu;
- 185 mm^2 pentru conductor-funie din sârme de cupru.

4.4. Cerințe privind protecția omului și a instalațiilor în cazul utilizării conductorului de protecție principal

4.4.1. Evaluarea prin calcul a tensiunilor de atingere/accesibile și de pas se va efectua pentru condițiile regimului de scurtă durată, regimului temporar și regimului permanent al instalațiilor fixe de tracțiune electrică (pentru definirea acestor regimuri vezi pct. 2.7.2-2.7.4). Valorile acestor tensiuni nu vor depăși valorile maxime admise de mai jos:

a) 60 V, valoare efectivă, pentru regim permanent (de funcționare continuă sau de funcționare forțată cu durată $>300 \text{ s}$) [16];

b) valorile din tabelele F2.1, F2.2, F2.3 din anexa F la prezentul normativ feroviar, pentru regimurile de scurtă durată și pentru regimurile temporare.

4.4.2. Potențialul șinelor de cale ferată (tensiunea șine de cale ferată - pământ de referință) se va determina prin calcul. Un astfel de calcul va ține seama de intensitățile maxime ale curenților de funcționare în regim de scurtă durată, regim temporar și regim permanent, care trec prin șinele de cale ferată.

În cazul regimului permanent, calculul va lua în considerare valoarea curentului de regim permanent de funcționare forțată (10 minute).

În cazul regimului de scurtă durată, calculul se va efectua ținând-se seama de valoarea intensității curentului inițial de scurtcircuit definit la pct. 2.7.5.10.

Valorile calculate ale potențialului șinelor de cale ferată, în orice punct al acestora, nu vor depăși cerințele de la pct. 4.4.1 lit. a) și b), în funcție de regimul studiat.

4.4.3. În cazul în care, pentru protecția împotriva atingerii indirecte, se utilizează conductorul de protecție principal tip CPPLP, este necesar ca tensiunile de atingere/accesibile și de pas calculate între părțile conductive accesibile legate la CPPLP și șine să nu depășească valorile precizate la pct. 4.4.1 lit. b).

4.4.4. Valorile maxime admisibile ale tensiunilor de atingere de calcul în cazul utilizării conductorului CPPLPCT

Pentru conductorul de protecție principal tip CPPLPCT, în regimul permanent de funcționare forțată (10 minute) precizat la pct. 4.2.2.2, este necesar ca tensiunile de atingere de calcul între obiectele metalice legate la CPPLPCT și șinele de cale ferată și potențialele șinelor de cale ferată să nu depășească valoarea de 60 V, precizată în [16].

Pentru regimurile de scurtă durată și pentru regimurile temporare ale CPPLPCT (scurtcircuit LCA - parte conductoare accesibilă legată la acest conductor) tensiunile de atingere de calcul parte conductivă accesibilă protejată - șină de cale ferată și potențialul șinelor de cale ferată depind de timpul maxim de deconectare a circuitului defect și trebuie să fie inferioare valorilor maxime precizate în anexa F la prezentul normativ feroviar.

4.5. Cerințe privind siguranța în funcționare pentru conductorul de protecție principal

4.5.1. Indicatorii de fiabilitate ai conductorului de protecție principal sunt stabiliți în funcție de natura materialelor din care este fabricat conductorul, considerându-se că el este un produs nereparabil.

4.5.2. Centila de ordin P a duratei de viață

a) Pentru conductor-funie de aluminiu-oțel, maximum 5% din echipament se poate defecta în 60 de ani.

b) Pentru conductor-funie de oțel, maximum 5% din echipament se poate defecta în 20 de ani.

4.5.3. Rata de defectare R sau fiabilitatea R (t)

a) Pentru conductor-funie de aluminiu-oțel:

- $\lambda \leq 0,083 \text{ an}^{-1}$ pe 100 km, pentru un nivel de încredere $\geq 0,8$;

- $R(t) \geq 0,999$ la $t = 1$ an și nivel de încredere $\geq 0,8$.

b) Pentru conductor-funie de oțel:

- $\lambda \leq 0,25 \text{ an}^{-1}$ pe 100 km, pentru un nivel de încredere $\geq 0,8$;

- $R(t) \geq 0,998$ la $t = 1$ an și nivel de încredere $\geq 0,8$.

5. Verificarea prin calcul a influenței conductorului de protecție principal asupra circuitului de cale

5.1. Determinarea curenților în șinele de cale ferată

Datorită poziției asimetrice a conductorului de protecție principal față de șinele de cale ferată (care sunt folosite pentru întoarcerea curenților de tracțiune și de scurtcircuit), este necesar ca în calculele privind regimul electric permanent de funcționare, regimul de scurtă durată și regimul temporar să se evalueze distribuția curentului în sistemul de conductoare format de conductoarele LCA, șinele de cale ferată și CPP. Fiecare dintre conductoarele amintite va fi parcurs de o componentă a curentului de tracțiune sau de scurtcircuit, care se va întoarce la STEF prin pământ, circuitele astfel formate fiind cuplate inductiv.

În cazul utilizării CPPLP sau CPPLPICT este necesar să se determine distribuția de curenți în șinele de cale ferată pentru toate regimurile.

5.2. Determinarea coeficientului de asimetrie a curenților în șinele unei căi ferate

Coeficientul de asimetrie de curent în șinele unei căi ferate electrificate echipate cu circuite de cale terminate cu bobine de joantă este determinat prin calcul cu relația:

$K(s) [\%] = |I(s1) - I(s2)| \times 100 / |I(s1) + I(s2)|$, în care $I(s1)$, $I(s2)$ reprezintă valorile complexe efective ale intensităților curenților prin șinele unei căi ferate, determinate prin calcul în regimurile electrice de funcționare precizate la pct. 4.2, pentru tipul de conductor de protecție principal, în condițiile cele mai dezavantajoase.

5.3. Limita maximă a coeficientului de asimetrie de curent în șinele unei căi ferate

Valoarea coeficientului de asimetrie de curent în șinele unei căi ferate electrificate, obținută prin calcul, este necesar să fie sub valoarea maximă precizată la pct. 3.2.5 și se poate verifica prin măsurători pentru un curent prin șină mai mare de 150 A.

6. Lista documentelor de referință

Aplicarea standardelor cuprinse în această listă reprezintă o modalitate recomandată pentru asigurarea conformității cu cerințele din prezentul normativ feroviar.

6.1. Conductoare - caracteristici fizice și constructive

- [1] SR EN 50183: 2002 Conductoare pentru linii electrice aeriene. Sârme de aliaj de aluminiu-magneziu-siliciu.
- [2] SR CEI 60104: 1995 Sârme de aliaj de aluminiu-magneziu-siliciu pentru conductoarele liniilor aeriene.
- [3] SR CEI 60888: 1994 Sârme de oțel zincate pentru conductoare cablate.
- [4] SR EN 60889: 2002 (SRCEI 60889:1994+SRCEI 60889:1994/A99:2002) Sârmă de aluminiu trasă la rece în stare de ecruisare tare pentru conductoarele liniilor aeriene.
- [5] SR CEI 61089: 1996+A1: 1999 Conductoare pentru linii aeriene cu sârme rotunde cablate în straturi concentrice.
- [6] DIN 48204: Aluminium conductors, steel reinforced (Conductoare-funie din aluminiu întărite cu oțel).
- [7] DIN 48203-11: Aluminium conductors, steel reinforced, technical terms of delivery (Conductoare-funie din aluminiu întărite cu oțel, condiții tehnice de livrare).
- [8] DIN 48203-5: Wires and stranded conductors of aluminium for lines (Sârme și conductoare-funie din aluminiu pentru linii electrice).
- [9] DIN 48201-5: Aluminium stranded conductors (Conductoare-funie din aluminiu).

[10] SR EN 50149:2002 Aplicații feroviare. Instalații fixe. Tracțiune electrică. Fire de contact renurate de cupru și aliaje de cupru.

[11] UIC-799: Caracteristiques des catenaires alimentees en courant alternatif pour les lignes parcourues a des vitesses superieures a 200 km/h. (Caracteristicile catenarelor alimentate în curent alternativ pentru linii parcurse la viteze mai mari de 200 km/h).

6.2. Condiții de mediu

[12] SR EN 50125-2: 2003 Aplicații feroviare. Condiții de mediu pentru echipamente. Partea 2: Instalații electrice fixe.

[13] SR HD 478.2.1. S1:2002 (STAS CEI 60721-2-1: 1992+STAS CEI 60721-2-1:1992/A99:2002) Clasificarea condițiilor de mediu. Partea 2-1: Condiții de mediu prezente în natură. Temperatură și umiditate.

[14] SR HD 478.2.4. S1:2004 Clasificarea condițiilor de mediu. Partea 2: Condiții de mediu prezente în natură. Radiație solară și temperatură.

[15] SR EN 50163: 2006/A1:2007 Aplicații feroviare. Tensiuni de alimentare ale rețelelor de tracțiune electrică.

6.3. Prevederi de protecție împotriva șocurilor electrice

[16] SR EN 50122-1:2002 Aplicații feroviare. Instalații fixe. Partea 1: Măsuri de protecție referitoare la securitatea electrică și la legarea la pământ.

[17] STAS 3197-2: 1990 Căi ferate normale. Elemente geometrice.

[18] SR CEI 60050-811:2000, Vocabular electrotehnic internațional. Capitolul 811: Tracțiune electrică.

[19] SR EN 61140: 2002/A1:2007 Protecție împotriva șocurilor electrice. Aspecte comune în instalații și echipamente electrice.

[20] SR CEI 60479-1: 2006 Efectele curentului asupra omului și animalelor domestice. Partea 1: Aspecte generale.

6.4. Circuite de cale

[21] SR CEI/UIC 60050-821:2005 Vocabular electrotehnic internațional - Partea 821: Semnalizare și aparate de siguranță pentru căile ferate.

6.5. Siguranța în funcționare

[22] SR EN 50126-1: 2003 Aplicații feroviare. Specificarea și demonstrarea fiabilității, disponibilității, mentenanței și siguranței (FDMS).

7. Anexe

ANEXA A (informativă)
la normativul feroviarCaracteristicile electrice ale conductoarelor-funie utilizate la
realizarea conductorului de protecție principal

A.1. Caracteristicile materialelor din care sunt fabricate conductoarele electrice aeriene neizolate tip funie, utilizate pentru conductorul de protecție principal

În calculele de proiectare necesare modelării fenomenelor electrice și verificării regimurilor termice ale conductoarelor electrice aeriene se utilizează caracteristicile electrice și termice ale materialelor din tabelul A.1.

Tabelul A.1 Principalele caracteristici fizice ale materialelor din care sunt fabricate conductoarele electrice aeriene neizolate de tip funie

Materialul electrotehnic	Densitatea materialului	Coeficientul de variație a rezistenței cu temperatura la 20°C	Rezistivitatea electrică la 20°C	Căldura specifică la 20°C	Căldura volumică la 20°C
	d[g/cm ³]	alfa ₂₀ [°C ⁻¹]	ro ₂₀ [Ohm.mm ² /m]	C(p0)[ws°C ⁻¹ /g]	d.C(p0)[ws°C ⁻¹ /cm ³]
Cupru	8,9	0,00405	0,01786	0,389	3,473
Aluminiu	2,7	0,0041	0,028264	0,887	2,395
Oțel	7,8	0,00585	0,1-0,15	0,481	3,78
Bronz II	8,9	0,004	0,02773	0,389	3,47

NOTĂ:

Caracteristicile fizice ale materialelor din care se fabrică conductoarele-funie, precizate mai sus, au caracter informativ, valorile acestora putând fi diferite de la fabricant la fabricant, cu respectarea standardelor naționale și internaționale în vigoare.

A.2. Caracteristicile conductoarelor electrice funie

În tabelul A.2 sunt precizate, cu caracter informativ, caracteristicile nominale ale conductoarelor-funie care se pot utiliza la realizarea conductorului de protecție principal.

NOTĂ:

Valorile intensității curentului prin conductor, în regimul permanent de funcționare continuă, au fost determinate considerând o viteză a vântului perpendicular pe axa conductorului de 0,6 m/s.

Tabelul A.2. Caracteristicile electrice nominale ale conductoarelor-funie care pot fi utilizate la realizarea CPP

Tipul conductorului	Diametrul exterior al conductorului	Rezistența în curent continuu la 20°C	Coeficientul de variație a rezistenței cu temperatura la 20°C	Temperatura mediului ambiant = Temperatura inițială a conductorului în regim permanent	Temperatura finală a conductorului în regimul permanent de funcționare continuă	Intensitatea curentului în regimul permanent de funcționare continuă	Rezistența în curent alternativ 50 Hz, la 20°C	Reactanța internă în curent alternativ 50 Hz
	d(e) [mm]	R(cc20) [ohmi/km]	alfa ₂₀ [°C ⁻¹]	theta(ic) [°C]	theta(fc) [°C]	I(fc) [A]	R(ca50) [ohmi/km]	X(ca50) [ohmi/km]
Al-OI 70/12	11,7	0,4044	0,004	35	80	290	0,4044	0,0130
Al-OI 95/15	13,6	0,2994	0,004	35	80	350	0,2994	0,0133
Al-OI 240/40	21,8	0,1163	0,004	35	80	645	0,1163	0,0133
Al 240	20,3	0,1165	0,004	35	70	625	0,1165	0,0157
BZ II 70	10,5	0,4213	0,004	35	70	245	0,4213	0,0157

NOTĂ:

Caracteristicile electrice ale conductoarelor-funie precizate mai sus au caracter informativ, valorile acestora putând fi diferite de la fabricant la fabricant, cu respectarea standardelor românești și internaționale în vigoare [1]-[9].

ANEXA B (normativă)
la normativul feroviar

Determinarea intensității curentului maxim admisibil în regimul permanent de funcționare continuă pentru condiții standard de temperatură a mediului ambiant și de temperatură finală a conductorului

Fiind dată de către fabricant intensitatea curentului prin conductor în regimul de funcționare continuă I_{fc} , la temperatura mediului ambiant θ_{fic} și temperatura finală a conductorului θ_{ffc} , se determină intensitatea curentului maxim admis pentru regimul de funcționare continuă I_{sfc} , în condițiile standard de temperatură inițială θ_{sic} , respectiv de temperatură finală a conductorului θ_{sfc} , cu relația de calcul:

$$I_{sfc} = I_{fc} \left\{ (\tau_{cv} - \tau_{sr}) (\theta_{sfc} - \theta_{sic}) [1 + \alpha_{20} (\theta_{ffc} - 20)] / (\tau_{cv} - \tau_{fr}) (\theta_{ffc} - \theta_{fic}) [1 + \alpha_{20} (\theta_{sfc} - 20)] \right\}^{0.5} \quad [A],$$

unde:

I_{fc} [A] — intensitatea curentului electric în regim permanent de funcționare continuă maxim admisibilă în condițiile date de fabricant (τ_{fr} , θ_{ffc} , θ_{fic});

α_{20} [1/°C] — coeficient de variație a rezistenței cu temperatura;

τ_{cv} [W/°C/cm²] — coeficient de transmisie a căldurii prin convecție, calculat cu relația:

$$\tau_{cv} = 0,009 \cdot (p_v / d_e)^{0.5} \text{ [W/°C/cm}^2\text{]}, \text{ în care:}$$

p [N/m²] — presiunea atmosferică;

v [m/s] — viteza vântului (care se ia în mod obișnuit 0,6 m/s);

d_e [mm] — diametrul exterior al conductorului;

τ_{sr} , τ_{fr} [W/°C/cm²] — coeficienți de transmisie a căldurii prin radiație, calculați pentru același conductor în condițiile standard, respectiv în condițiile date de fabricant, cu relațiile:

$$\tau_{sr} = 2,8(100 + 0,6 \theta_{sfc}) \cdot 10^{-6} \text{ [W/°C/cm}^2\text{]},$$

$$\tau_{fr} = 2,8(100 + 0,6 \theta_{ffc}) \cdot 10^{-6} \text{ [W/°C/cm}^2\text{]}.$$

ANEXA C (normativă)
la normativul feroviar

Încălzirea conductorului de protecție principal datorită curentului de scurtcircuit

C.1. Determinarea valorii maxime a curentului termic echivalent de scurtă durată care parcurge conductorul de protecție principal

C.1.1. Ipoteze de calcul

În cazul scurtcircuitelor care pot să apară între elementele sub tensiune ale LCA și elementele părților conductive accesibile (sau elementele circuitului de întoarcere), se iau în considerare următoarele:

a) scurtcircuiturile sunt de tip bifazat și sunt considerate îndepărtate față de generatorul din SEN, schema electrică echivalentă a rețelei modelând regimul cel mai defavorabil, în care se obține curentul de scurtcircuit bifazat inițial maxim, a cărei intensitate se va nota cu $I''(K2)$; curentul anterior defectului la locul scurtcircuitului K este considerat nul;

b) se consideră cunoscute: impedanța de scurtcircuit simetric la barele de 110 kV ale STEF, impedanța de scăpări a transformatorului (transformatoarelor) din STEF și impedanța echivalentă a LCA;

c) valoarea efectivă a intensității curentului de scurtcircuit bifazat inițial $I''(K2)$ este egală cu valoarea intensității curentului de scurtcircuit bifazat permanent $I(K2)$ și este determinată cu formula:

$$I''_{K2} = I_{K2} = 1,1 \cdot U_N / Z_K \text{ [A]},$$

în care:

U_N [V] — este valoarea efectivă a tensiunii nominale a instalației unde apare scurtcircuitul;

$Z_K = R_K + jX_K$ — impedanța complexă echivalentă a buclei de scurtcircuit între generatorul echivalent al SEN și locul defectului, raportată la U_N , unde s-au calculat:

$$R_K = 2R_s + R_T + R_L \text{ [Ohm]},$$

$$X_K = 2X_s + X_T + X_L \text{ [Ohm]},$$

în care:

R_s, X_s reprezintă rezistența, respectiv reactanța de scurtcircuit simetric la barele de 110 kV ale STEF;

R_T, X_T reprezintă rezistența, respectiv reactanța de scurtcircuit a transformatorului (transformatoarelor) din STEF;

R_L, X_L reprezintă rezistența, respectiv reactanța LCA între stație și locul de defect;

NOTĂ:

Valorile pentru $R_s, X_s, R_T, X_T, R_L, X_L$ sunt calculate la temperatura de 20°C pentru a se obține valori maxime ale curentului de scurtcircuit și sunt raportate la tensiunea instalației unde a apărut scurtcircuitul.

d) intensitatea curentului de scurtcircuit de șoc $i(\text{șoc2})$ va fi calculată cu relația:

$$i_{\text{șoc2}} = \chi \cdot 2^{0,5} \cdot I''_{K2} \text{ [A]},$$

unde: $\chi = 1,02 + 0,93 \cdot e^{-3R_K/X_K}$ este factorul de șoc;

- e) pentru dimensionarea conductorului de protecție principal se consideră că durata regimului de scurtcircuit $t(k)$ este egală cu durata de deconectare a circuitului defect prin protecția de rezervă $t(pr)[s]$;
- f) valoarea efectivă a intensității curentului termic echivalent de scurtă durată $I(ec)$ se calculează folosindu-se următoarele relații:

$$\int_0^{t_k} i^2(t) dt = t_k \cdot I_{ec}^2 = 2I_{K2}^2 (C_1 + C_2 + C_3) [A^2 s], \text{ din care rezultă:}$$

$$I_{ec}^2 = 2I_{K2}^2 (C_1 + C_2 + C_3) / t_k [A^2],$$

în aceste relații s-au notat:

$$C_1 = 0,5 T_k \sin^2 \alpha \cdot (1 - e^{-2t_k/T_k});$$

$$C_2 = 2 T_k \sin \alpha \cdot \{ \omega T_k \cos \alpha - \sin \alpha - e^{-t_k/T_k} [\sin(\omega t_k - \alpha) + \omega T_k \cos(\omega t_k - \alpha)] \} / (1 + \omega^2 T_k^2);$$

$$C_3 = 0,5 t_k - 0,25 / \omega \cdot [\sin(2\omega t_k - 2\alpha) + \sin 2\alpha],$$

în care: $\omega [\text{radian/s}] = 2\pi f$, unde $f = 50 \text{ Hz}$ frecvența rețelei de alimentare;

$T_k [s^{-1}] = X_k / \omega / R_k$, constanta de timp a circuitului electric serie echivalent care modelează scurtcircuitul;

$\alpha [\text{radian}] = \varphi - \psi$ unghiul de comutație,

$\varphi = \arctg (X_k / R_k) [\text{radian}]$ — unghiul electric al impedanței circuitului electric serie care modelează scurtcircuitul;

$\psi [\text{radian}]$ — unghiul de fază al tensiunii generatorului echivalent al sistemului de alimentare:

$$u_g(t) = 1,1 \cdot 2^{0,5} \cdot U_N \sin(\omega t_k + \psi) [V].$$

NOTA 1: Pentru scurtcircuite în același punct K, cu durate $t_{k1} \neq t_{k2}$, relația dintre valorile intensităților curentului termic echivalent de scurtcircuit este: $I_{ec2} = I_{ec1} (t_{k1}/t_{k2})^{0,5}$.

NOTA 2: Pentru scurtcircuite succesive, în același punct K, cu pauze scurte între ele (de exemplu scurtcircuite în instalațiile cu dispozitive R.A.R.), valorile individuale ale curenților termic echivalenți de scurtă durată se determină cu relația de la pct. C.1.1 lit. f):

$$I_{ec,i}^2 = 2I_{K2,i}^2 (C_{1,i} + C_{2,i} + C_{3,i}) / t_{k,i} [A^2], i=1, \dots, n,$$

Curentul echivalent termic de scurtă durată rezultat se determină cu relația:

$$\sum_{i=1}^n I_{ec}^2 = 1/t_k \sum_{i=1}^n t_{k,i} I_{ec,i}^2 [A^2]$$

$$\int_0^{t_k} i^2(t) dt = t_k \cdot I_{ec}^2 = 2 \sum_{i=1}^n I_{K2,i}^2 (C_{1,i} + C_{2,i} + C_{3,i}) [A^2 s],$$

$$\text{din care rezultă: } I_{ec}^2 = 2 \sum_{i=1}^n I_{K2,i}^2 (C_{1,i} + C_{2,i} + C_{3,i}) / t_k$$

unde: $t_k = \sum_{i=1}^n t_{k,i} [s]$ - durată totală a scurtcircuitelor.

C.1.2. În cazul CPPLP curentul la locul scurtcircuitului este identic cu curentul care parcurge conductorul, acesta trebuind să fie dimensionat pentru intensitatea $I(ck2) = I(K2)$ la durata de trecere $t(pr)$, iar curentul termic echivalent de scurtă durată prin conductor $I(cec) = I(ec)$ (determinat la pct. C1.1).

C.1.3 În cazul CPPLPICT valoarea efectivă a curentului de scurtcircuit bifazat permanent care parcurge conductorul $I(ck2)$ se determină ca parte componentă a curentului de scurtcircuit bifazat permanent la locul defectului $I(k2)$, prin distribuția acestuia în cadrul sistemului de conductoare (cablu purtător, fir de contact, șine de cale ferată, CPPLPICT, pământ de referință), durata regimului de scurtcircuit fiind dată de timpul necesar deconectării circuitului defect prin protecția de rezervă $t(K) = t(pr)$. În mod similar curentul termic echivalent de scurtă durată prin conductor $I(cec)$ este parte componentă a curentului termic echivalent de scurtă durată calculat la locul defectului K, notat cu $I(ec)$.

C.2. Calculul temperaturii conductorului principal de protecție la sfârșitul regimului de scurtcircuit $\theta(max)$ când acesta este parcurs de curentul de scurtă durată termic echivalent $I(cec)$, pe durata $t(k) = t(pr)$.

C.2.1. Ipoteze de calcul

În calculele pentru verificarea stabilității termice a conductorului de protecție principal se verifică dacă după durata scurtcircuitului $t(k)$, considerată cunoscută, temperatura conductorului $\theta(max)$ depășește temperatura maxim admisibilă în regim de scurtă durată $\theta(s,max)$ prescrisă de standarde sau norme. În acest scop se iau în considerare următoarele:

a) Încălzirea conductorului în regim de scurtcircuit este un fenomen adiabatic (fără schimb de căldură cu mediul exterior) datorită duratei foarte scurte a regimului, temperatura conductorului fiind în funcție de timp; se consideră că temperatura inițială a conductorului pentru acest regim este egală cu temperatura finală a conductorului la funcționarea sa în regim permanent $\theta(sfc)$, iar intensitatea curentului inițial are valoarea intensității maxime admisibile de regim permanent $I(sfc)$ precizate de standarde sau norme;

b) se consideră că în timpul fenomenului rezistivitatea materialului din care este realizat conductorul variază liniar cu temperatura acestuia, iar căldura specifică a conductorului este considerată constantă;

c) se consideră că s-a determinat anterior valoarea efectivă a curentului termic echivalent de scurtă durată prin conductorul de protecție principal $I(cec)$, conform pct. C.1.1, C.1.2 și C.1.3, care ține seama de variația curentului instantaneu de scurtcircuit pe durata $t(k)$.

Luându-se în considerare ipotezele de mai sus, ecuația care stabilește bilanțul termic al conductorului este:

$$c_{p,20} \cdot M \cdot (di/dt) = \rho_{20}/s \cdot (1+y_s+y_p) \cdot [1+\alpha_{20}(\theta - 20)] \cdot i^2(t),$$

în care s-au efectuat următoarele notații:

$i(t)[A]$ — intensitatea curentului de scurtcircuit care parcurge conductorul (valoare instantanee);

$c_{p,20} [w.s/g/^{\circ}C]$ — căldura specifică a materialului la $20^{\circ}C$;

$M[g/m]$ — masa conductorului pe unitate de lungime (în cazul conductoarelor Al-OL se va lua în considerare doar masa aluminiului pe unitate de lungime);

$\rho_{20} [Ohm.mm^2/m]$ — rezistivitatea materialului din care este fabricat conductorul;

$s[mm^2]$ — aria secțiunii transversale în conductor;

$1+y_s+y_p$ — factor supraunitar care ține seama de efectul SKIN și de efectul de proximitate;

$\alpha_{20} [1/^{\circ}C]$ — coeficientul de variație a rezistenței cu temperatura.

Integrarea ecuației prin metoda separării variabilelor conduce la soluția:

$$\theta_{max} = 20 + (e^{K2} - 1) / \alpha_{20},$$

în care:

α_{20} — are semnificația anterioară;

$K2 = t_k \alpha_{20} I_{cec}^2 / s^2 / K1 + \ln[1+\alpha_{20}(\theta_{sfc} - 20)]$;

$K1 = d c_{p,20} / \rho_{20} / (1+y_s+y_p)$;

$d[g/cm^3]$ — densitatea materialului conductorului.

ANEXA D (normativă)
la normativul feroviar

Impedanțele corpului omenesc

D.1. Impedanța internă a corpului omenesc $Z(i)$ este definită la pct. 2.6.11 din normativul feroviar și depinde de frecvența și valoarea tensiunii de atingere efectivă și de calea de curent prin corp.

D.2. Impedanțele pielii corpului omenesc, $Z(p,1)$, $Z(p,2)$, sunt definite la pct. 2.6.12 din normativul feroviar și depind de frecvența și valoarea tensiunii de atingere efective și de suprafața de contact între cei doi electrozi aplicați și pielea corpului.

NOTĂ:

Valorile impedanțelor interne și ale impedanțelor pielii corpului omenesc au fost determinate experimental, rezultatele măsurărilor fiind prelucrate statistic [20].

D.3. Impedanța totală a corpului omenesc, $Z(T)$, este definită la pct. 2.6.13 din normativul feroviar și este determinată de impedanța internă $Z(i)$ și de impedanțele pielii $Z(p,1)$, $Z(p,2)$, folosindu-se relația:

$$Z(T) = Z(p,1) + Z(i) + Z(p,2)$$

D.4. În tabelul D.3 sunt precizate valorile statistice ale impedanței totale a corpului omenesc $Z(T)$ atât pentru calea de curent prin corp mâna stângă - mâna dreaptă, cât și pentru calea de curent mâna stângă - ambele picioare, la diferite valori ale tensiunii de atingere efectivă, la frecvența de 50 Hz și la diferite probabilități de nedepășire a valorilor $Z(T)$ din tabel.

Tabelul D.3. - Impedanța totală a corpului omenesc $Z(T)$ și curentul prin corpul omenesc $I(B)$ în funcție de tensiunea de atingere efectivă între punctele de contact ale corpului $U(T)$, la frecvența 50 Hz, pentru căile de curent prin corp: mâna stângă - mâna dreaptă, mâna stângă - ambele picioare

Tensiune de atingere efectivă între punctele de contact $U(T)$ [V]	Calea de curent prin corp: mâna stângă - mâna dreaptă sau piciorul stâng - piciorul drept						Calea de curent prin corp: mâna stângă - ambele picioare					
	$Z(T5\%)$ [Ohm]	$I(B5\%)$ [mA]	$Z(T50\%)$ [Ohm]	$I(B50\%)$ [mA]	$Z(T95\%)$ [Ohm]	$I(B95\%)$ [mA]	$Z(T5\%)$ [Ohm]	$I(B5\%)$ [mA]	$Z(T50\%)$ [Ohm]	$I(B50\%)$ [mA]	$Z(T95\%)$ [Ohm]	$I(B95\%)$ [mA]

25	1750	14,3	3250	7,7	6100	4,1	1312	19,05	2437	10,2	4575	5,5
50	1450	34,5	2625	19	4375	11,4	1087	45,9	1969	25,4	3281	15,2
75	1250	60	2200	34,1	3500	21,4	937	80	1650	45,5	2625	28,6
100	1200	83,3	1875	53,3	3200	31,2	900	111	1406	71,1	2400	41,7
125	1125	111,1	1625	76,9	2875	43,5	843	148	1219	102,5	2156	58
220	1000	220	1350	163	2125	103,5	750	293	1012	217,4	1594	138
700	750	933	1100	636	1550	452	562	1244	825	848,5	1162	602
1000	700	1428	1050	952	1500	667	525	1904	787	1270	1125	889
5000	650	7692	750	6666	850	5882	487	10267	562	8896	637,5	7843

NOTA 1 : Impedanțele totale ale corpului omenesc pentru calea de curent prin corp mâna stângă - ambele picioare au fost deduse din impedanțele totale corespunzătoare căii de curent mâna stângă - mâna dreaptă (considerate drept valori de referință obținute experimental), care au fost amplificate cu factorul 0,75 prevăzut în [16].

NOTA 2 : Impedanțele totale ale corpului omenesc pentru calea de curent prin corp picior stâng - picior drept au fost considerate egale cu impedanțele totale corespunzătoare căii de curent mâna stângă - mâna dreaptă.

Exemplu: Valoarea $Z(T5\%) = 1750$ Ohm din tabelul D.3 reprezintă valoarea impedanței totale a corpului omenesc la tensiunea de atingere efectivă între punctele de contact ale corpului $U(T) = 25V$, 50 Hz, pentru calea de curent prin corp mâna stângă - mâna dreaptă, care nu este depășită pentru 5% din populație. Valoarea corespunzătoare a curentului prin corpul omenesc este:

$$I(B5\%) = 25/1750 = 14,3 \text{ mA}$$

Valoarea impedanței totale a corpului omenesc pentru calea de curent mâna stângă - ambele picioare, la aceeași tensiune, este:

$$Z(T5\%) - 0,75 \times 1750 = 1312 \text{ Ohm,}$$

iar curentul prin corpul omenesc în acest caz este:

$$I(B5\%) = 25/1312 = 19 \text{ mA.}$$

ANEXA E (normativă)
la normativul feroviar

Efectele trecerii curentului prin corpul omenesc

E.1. Fibrilația ventriculară - este considerată a fi principala cauză a deceselor datorate șocurilor electrice. Efectele patofiziologice, cum sunt: contracțiile musculare, dificultățile în respirație, creșterea presiunii sanguine, perturbările în formarea și conducerea impulsurilor în inimă incluzând fibrilația auriculară și opririle tranzitului cardiac, care pot să apară fără fibrilație ventriculară, nu sunt considerate letale și în mod obișnuit sunt reversibile [20].

E.2. Zonele curent/timp

În figura E.1 sunt reprezentate grafic zonele curent/timp pentru calea de curent mâna stângă - ambele picioare, zone care au fost determinate experimental și care sunt considerate zone de referință.

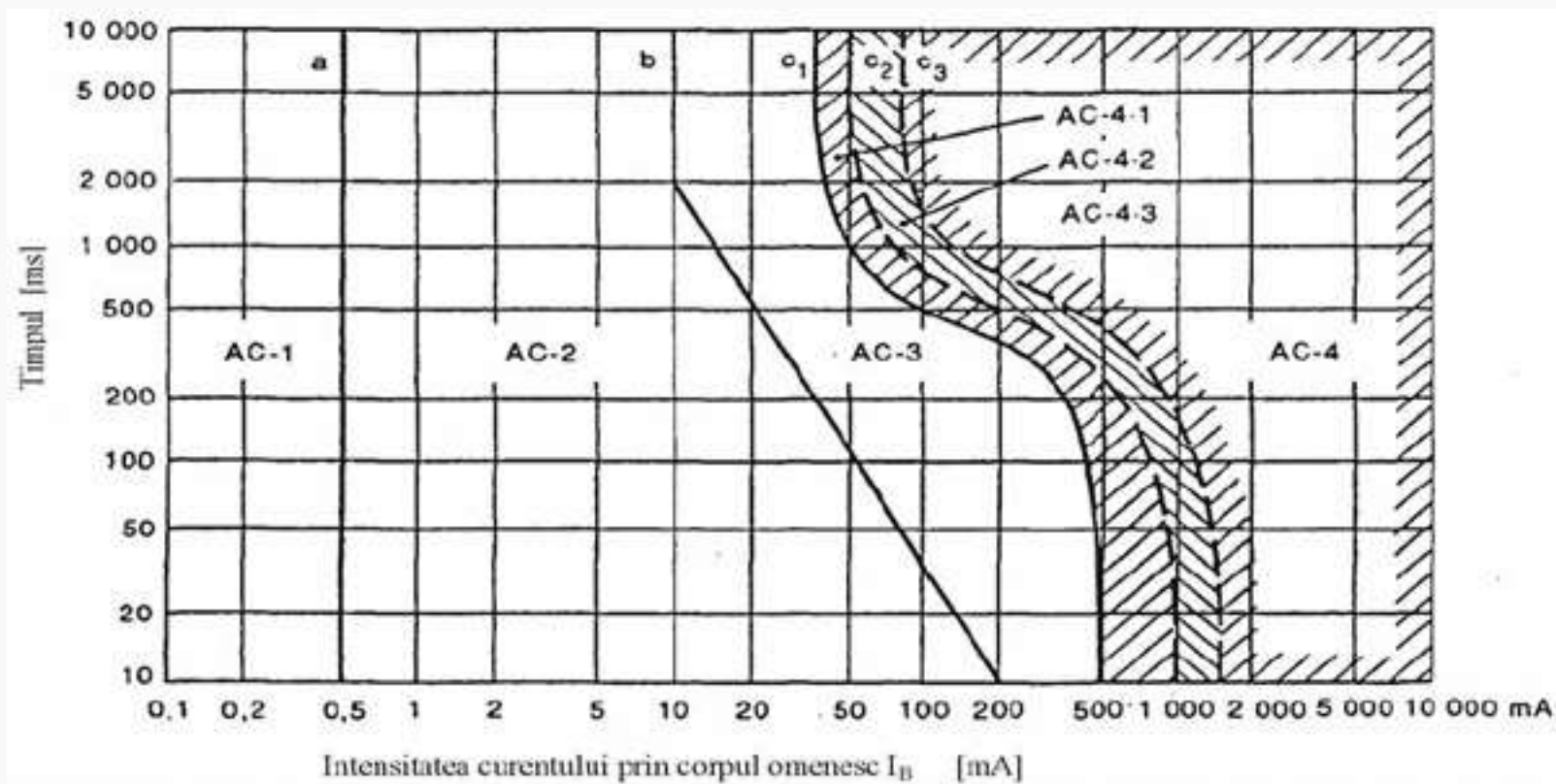


Figura E.1¹⁾ - Zonele curent/timp pentru calea de curent mână stângă - ambele picioare

¹⁾ Figura E.1 este reprodusă în facsimil.

În tabelul E.1 sunt precizate zonele curent/timp, pentru frecvențe în domeniul 15-100 Hz, în funcție de efectele pe care le are trecerea curentului prin corpul omenesc.

Tabelul E.1 - Zonele curent/timp pentru curent alternativ cu frecvența de la 15 Hz la 100 Hz

Notăția zonei curent/timp	Limitele zonei	Efecte patofiziologice
AC-1	Până la linia "a" (determinată de dreapta $I(B) = 0,5$ mA)	În mod obișnuit nicio reacție
AC-2	De la linia "a" la linia "b" *)	În mod obișnuit niciun efect fiziologic periculos
AC-3	De la linia "b" la curba "c ₁ "	În mod obișnuit nu este de așteptat un defect organic. Sunt probabile contracții musculare și dificultăți de respirație pentru durata de trecere a curentului mai mare de 2 s. Perturbații reversibile în formarea și propagarea impulsurilor în inimă, inclusiv fibrilație auriculară și oprirea temporară a inimii fără fibrilație ventriculară, care cresc cu intensitatea curentului și cu timpul de trecere a curentului.
AC-4	Deasupra curbei "c ₁ "	Creșterea numărului efectelor periculoase patofiziologice cum sunt opriri ale inimii, opriri ale respirației, în funcție de durata și intensitatea curentului de trecere prin corp. Pot să apară perturbări grave față de efectele zonei AC3.
AC-4.1	Între curbele "c ₁ " și "c ₂ "	Probabilitate a fibrilației ventriculare în creștere până la 5%
AC-4.2	Între curbele "c ₂ " și "c ₃ "	Probabilitate a fibrilației ventriculare în creștere până la 50%
AC-4.3	Peste curba "c ₃ "	Probabilitate a fibrilației ventriculare peste 50%
*) Pentru durate de trecere a curentului sub 10 ms, limita pentru curentul prin corpul omenesc pentru linia "b" rămâne constantă la o valoare de 200 mA.		

E.3. Factorul de curent prin inimă, notat cu F permite calculul intensităților curenților $I(h)$ pentru diverse căi de curent prin corp, altele decât calea mâna stângă - ambele picioare, pentru fiecare existând același pericol de fibrilație ventriculară. Pentru calea de curent mâna stângă - ambele picioare intensitatea curentului prin corp se consideră drept valoare de referință $I(\text{ref})$.

În figura E.1 intensitatea curentului prin corpul omenesc prin calea de curent mâna stângă - ambele picioare s-a notat cu $I(B)$, fiind identică cu intensitatea curentului de referință $I(\text{ref})$, corespunzând evident unui factor de curent prin inimă

unitar. Curbele c_1 , c_2 , c_3 caracterizează probabilistic pericolul de apariție a fibrilației ventriculare în cazul căii de curent mâna stângă - ambele picioare.

În tabelul E.2 sunt precizate valorile factorului de curent prin inimă F pentru diverse căi de curent prin corpul omenesc.

Determinarea curentului $I(h)$ prin corpul omenesc, pentru una dintre căile de curent din tabel, care are un efect identic asupra inimii cu efectul produs de curentul de referință $I(\text{ref})$ citit pe curba c_1 din figura E.1, se efectuează cu relația:

$$I(h) = I(\text{ref})/F \text{ [A]}$$

unde:

- $I(\text{ref})$ [A] curentul prin calea de curent mâna stângă - ambele picioare determinat în funcție de timpul de trecere a curentului prin corpul omenesc din figura E.1;
- F factorul de curent prin inimă precizat în tabelul E.2 pentru calea de curent corespunzătoare curentului $I(h)$.

Tabelul E.2 - Factorul de curent prin inimă F pentru diferite căi de curent prin corpul omenesc

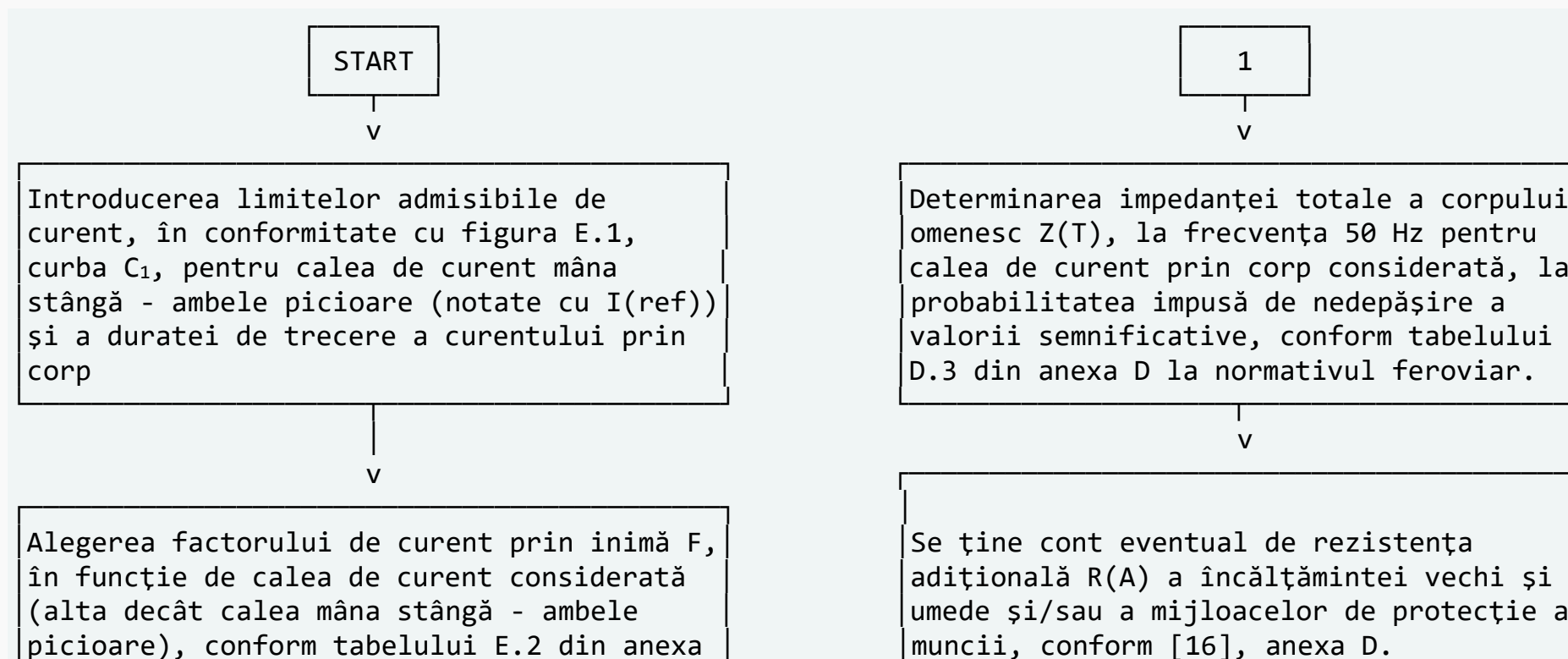
Nr. crt.	Calea de curent pentru $I(h)$	Factorul de curent prin inimă F
1	mâna stângă - piciorul stâng, piciorul drept sau ambele picioare	1,0
2	ambele mâini - ambele picioare	1,0
3	mâna stângă - mâna dreaptă	0,4
4	mâna dreaptă - piciorul stâng	0,8
5	spate - mâna dreaptă	0,3
6	spate - mâna stângă	0,7
7	piept - mâna dreaptă	1,3
8	piept - mâna stângă	1,5
9	șezut - mâna stângă sau mâna dreaptă sau ambele picioare	0,7

Exemplu: Pentru calea curentului prin corp mâna stângă - mâna dreaptă se amplifică valorile (intensitățile) curentului de pe curbele c_1 , c_2 , c_3 din figura E.1 cu raportul $1/F$, obținându-se un curent $I(h)$ de 2,5 ori mai mare decât cel notat cu $I(\text{ref})$ pentru calea de curent mâna stângă - ambele picioare, efectul lui asupra inimii fiind același.

ANEXA F (normativă)
la normativul feroviar

Calculul limitelor tensiunilor de atingere și de pas

F.1. Limitele tensiunilor de atingere/accesibile și de pas se calculează pentru o anumite cale de curent prin corp, conform anexei D din [20], pentru o probabilitate de 0% de producere a fibrilației ventriculare, pentru diverse probabilități de nedepășire a valorilor impedanței totale a corpului omenesc. Organigrama calculelor este prezentată în figura următoare:



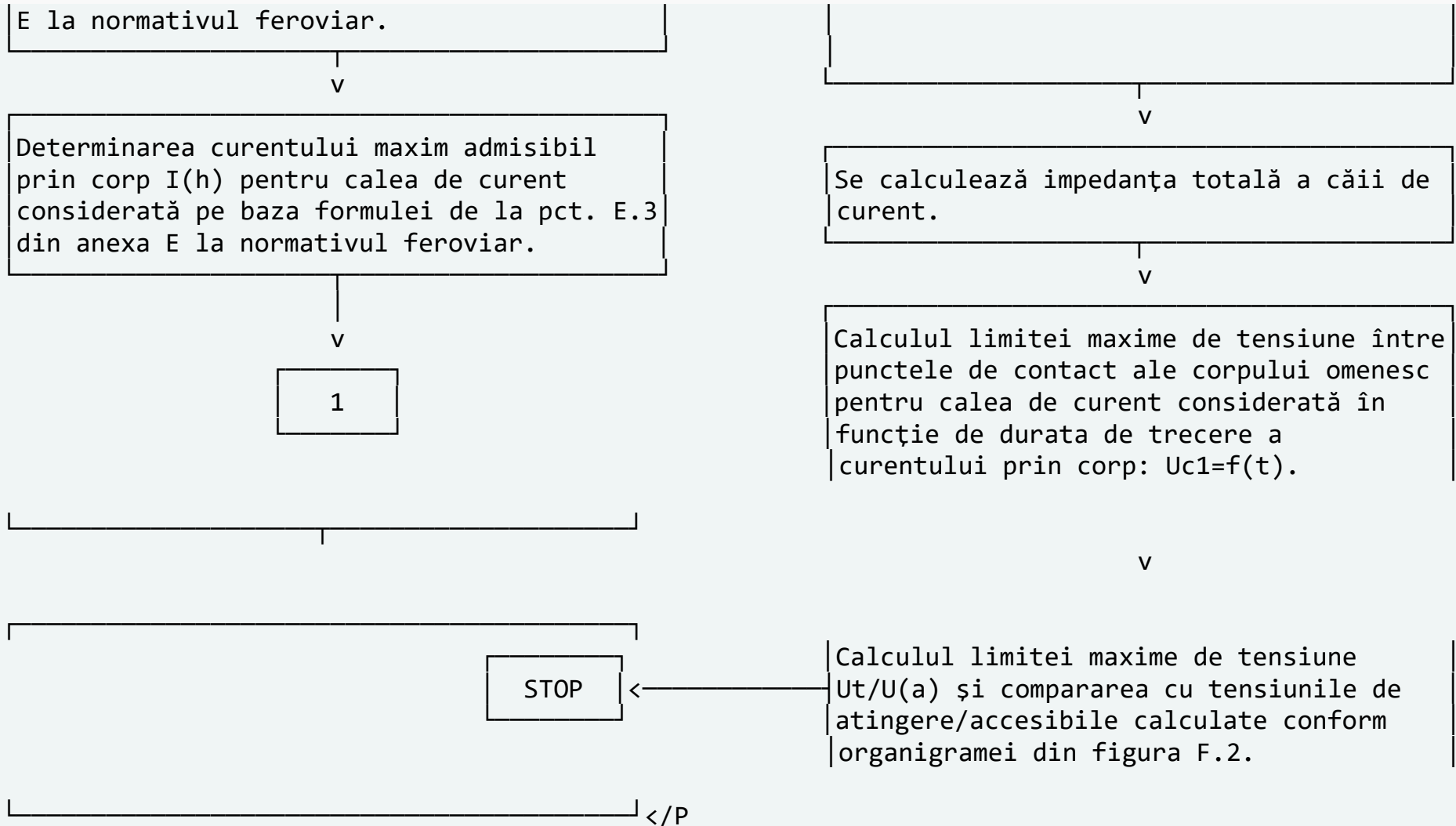


Figura F.1.1 - Organigrama calculului privind limita maximă de tensiune de atingere/accesibilă pentru o anume cale de curent prin corp

F.2.

În tabelele F2.1, F2.2 și F2.3 se precizează valorile limitelor tensiunii între punctele de contact ale corpului omenesc $U(C1)$ și ale limitelor tensiunii de atingere/accesibile ($U(t)/U(a)$) care au fost calculate urmând organigrama din figura F.1.1, pentru următoarele căi de curent:

-
mâna stângă - ambele picioare, cu considerarea unei rezistențe adiționale $R(A) = 1.000$ Ohmi pentru încălțăminte veche și umedă, în cazul regimurilor de scurtă durată;

-
mâna stângă - mâna dreaptă, fără considerarea mijloacelor pentru protecția muncii;

-
piciorul stâng - piciorul drept, cu considerarea unei rezistențe adiționale $R(A) = 4.000$ Ohmi corespunzătoare încălțăminte vechi și umede, în cazul regimurilor de scurtă durată.

În figurile F2.1, F2.2 și F2.3 sunt trasate diagramele acestor mărimi, conținând atât valorile din tabelele F2.1, F2.2 și F2.3, cât și valorile intermediare obținute prin interpolare.

Tabelul F.2.1.

- Limita maximă a tensiunii între punctele de contact ale corpului omenesc și a tensiunii de atingere/accesibilă în funcție de durata de trecere a curentului prin corpul omenesc, pentru calea de curent mâna stângă - ambele picioare, la probabilitatea 0% de a se produce fibrilația ventriculară (curba c_1 , figura E.1) și la valorile impedanțelor totale ale corpului uman $Z(T,5\%)$, $Z(T,50\%)$, $Z(T,95\%)$ date în tabelul D.3 din anexa D la normativul feroviar

		Limita maximă a tensiunii de atingere/accesibilă ($U(t)/U(a)$)	Regimul electric
--	--	--	------------------

Durata de trecere a curentului prin corp t [s]	Curentul maxim admis prin corpul omenesc I(B)[mA] I _{c1} = I _{ref}	Pentru Z(T,5%)		Pentru Z(T,50%)		Pentru Z(T,95%)		
		U _{c1} [V]	U _t /U _a [V]	U _{c1} [V]	U _t /U _a [V]	U _{c1} [V]	U _t /U _a [V]	
0,02	500	337	837	440	940	605	1105	Regim de scurtă durată cu R(A) = 1000 Ohmi
0,10	442	306	748	400	842	549	991	
0,20	350	253	604	320	670	457	807	
0,30	252	198	446	245	497	353	605	
0,40	145	123	268	160	305	229	374	
0,50	100	91	191	125	225	178	278	
0,60	78	73,6	130	105	160	152	208	Regim temporar
0,70	66	65	97	95	130	136	168	
0,80	58	59	85	90	110	125	141	
0,90	52	56	61	85	90	116	120	
1,00	50	53	53	80	80	113	113	
3,00	39	44		67		96		
5,00	38	43		66		93		
5 < t ≤ 300	38	43		66		93		

Tabelul F.2.2.

- Limita maximă a tensiunii între punctele de contact ale corpului omenesc și a tensiunii de atingere/accesibilă în funcție de durata de trecere a curentului prin corpul omenesc, pentru calea de curent mâna stângă - mâna dreaptă, fără mijloace de protecția muncii (R(A) = 0 Ohm), la probabilitatea 0% de a se produce fibrilația ventriculară (curba c₁, figura E.1) și la valorile impedanțelor totale ale corpului uman Z(T,5%), Z(T,50%), Z(T,95%) date în tabelul D.3 din anexa D la normativul feroviar

		Limita maximă a tensiunii de atingere/accesibilă (U(t)/U(a))=U(C1)	Regimul electric
--	--	---	---------------------

Durata de trecere a curentului prin corp t [s]	Curentul maxim admis prin corpul omenesc $I(B)[mA]=2,5 \times I_{ref}$	Pentru Z(T,5%)	Pentru Z(T,50%)	Pentru Z(T,95%)	
		U(c1)[V]	U(c1)[V]	U(c1)[V]	
0,02	1250	896	1253	1591	Regim scurtă durată R(A)=0
0,10	1105	807	1161	1452	
0,20	875	665	928	1222	
0,30	630	511	694	949	
0,40	362	329	434	589	
0,50	250	244	316	440	
0,60	195	195	256	362	Regim temporar
0,70	165	173	222	317	
0,80	145	156	201	287	
0,90	130	142	185	263	
1,00	125	138	180	255	
3,00	97,5	113	149	212	
5,00	95	111	146	208	
5 < t ≤ 300	95	111	146	208	

Tabelul F.2.3.

- Limita maximă a tensiunii între punctele de contact ale corpului omenesc și a tensiunii de atingere/accesibilă în funcție de durata de trecere a curentului prin corpul omenesc, pentru calea de curent piciorul stâng piciorul drept, la probabilitatea 0% de a se produce fibrilația ventriculară (curba c_1 , figura E.1) și la valorile impedanțelor totale ale corpului uman $Z(T,5\%)$, $Z(T,50\%)$, $Z(T,95\%)$ date în tabelul D.3 din anexa D la normativul feroviar

Durata de trecere a	Curentul maxim admis prin corpul	Limita maximă a tensiunii de atingere/accesibilă (U(t)/U(a))			Regimul electric
		Pentru Z(T,5%)	Pentru Z(T,50%)	Pentru Z(T,95%)	

curentului prin corp t [s]	omenesc I(B)[mA]= 2,5xIref	U(c1) [V]	U(t)/U(a) [V]	U(c1) [V]	U(t)/U(a) [V]	U(c1) [V]	U(t)/U(a) [V]	
0,02	1250	896	5896	1253	6253	1591	6591	Regim de scurtă durată, cu R(A) = 4000 Ohmi
0,10	1105	807	5227	1161	5581	1452	5872	
0,20	875	665	4165	928	4428	1222	4722	
0,30	630	511	3031	694	3214	949	3469	
0,40	362	329	1781	434	1886	589	2041	
0,50	250	244	1244	316	1316	440	1440	
0,60	195	195	755	256	816	362	922	Regim temporar
0,70	165	173	493	222	542	317	637	
0,80	145	156	316	201	361	287	447	
0,90	130	142	182	185	225	263	303	
1,00	125	138	138	180	180	255	255	
3,00	97,5	113	113	149	149	212	212	
5,00	95	111	111	146	146	208	208	
5 < t <= 300	95	111	111	146	146	208	208	

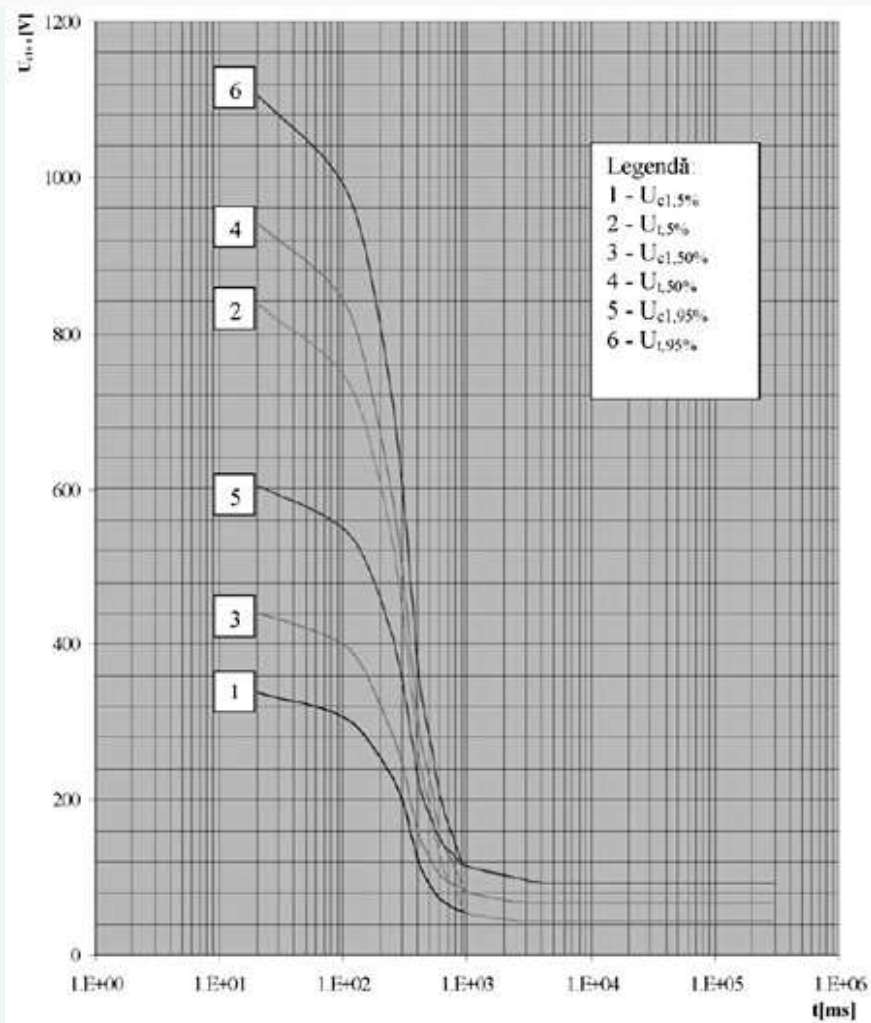
F.3.

Valorile maxime admisibile ale tensiunilor de atingere/accesibile de calcul, pentru instalația de protecție care utilizează conductor de protecție principal, se vor calcula conform organigramei din figura F.3.1 și nu vor depăși limitele tensiunilor de atingere/accesibile și de pas pentru calea de curent considerată, precizate în tabelele F2.1, F2.2 și F2.3.

NOTĂ:

Pentru valori intermediare ale duratei de trecere a curentului prin corpul omenesc, valorile limitelor maxime ale tensiunilor de atingere/accesibile și ale curentului prin corpul omenesc se vor obține prin interpolare, pe baza valorilor tabelate, sau din figurile F2.1, F2.2 și F2.3.

Figura F.2.1*) Limita maximă a tensiunii între punctele de atingere ale corpului uman $U(c1)(t)$ și a tensiunii de atingere/accesibile $U(t)(t)$ pentru calea de curent prin corp: mâna stângă - ambele picioare, cu $R(A) = 1000 \text{ Ohmi}$



*)

Figura F.2.1 este reprodusă în facsimil.

Figura F.2.2*) Limita maximă a tensiunii între punctele de atingere ale corpului uman $U(c1)(t)$ și a tensiunii de atingere/accesibile $U(t)(t)$ pentru calea de curent prin corp: mâna stângă - mâna dreaptă, cu $R(A) = 0 \text{ Ohm}$

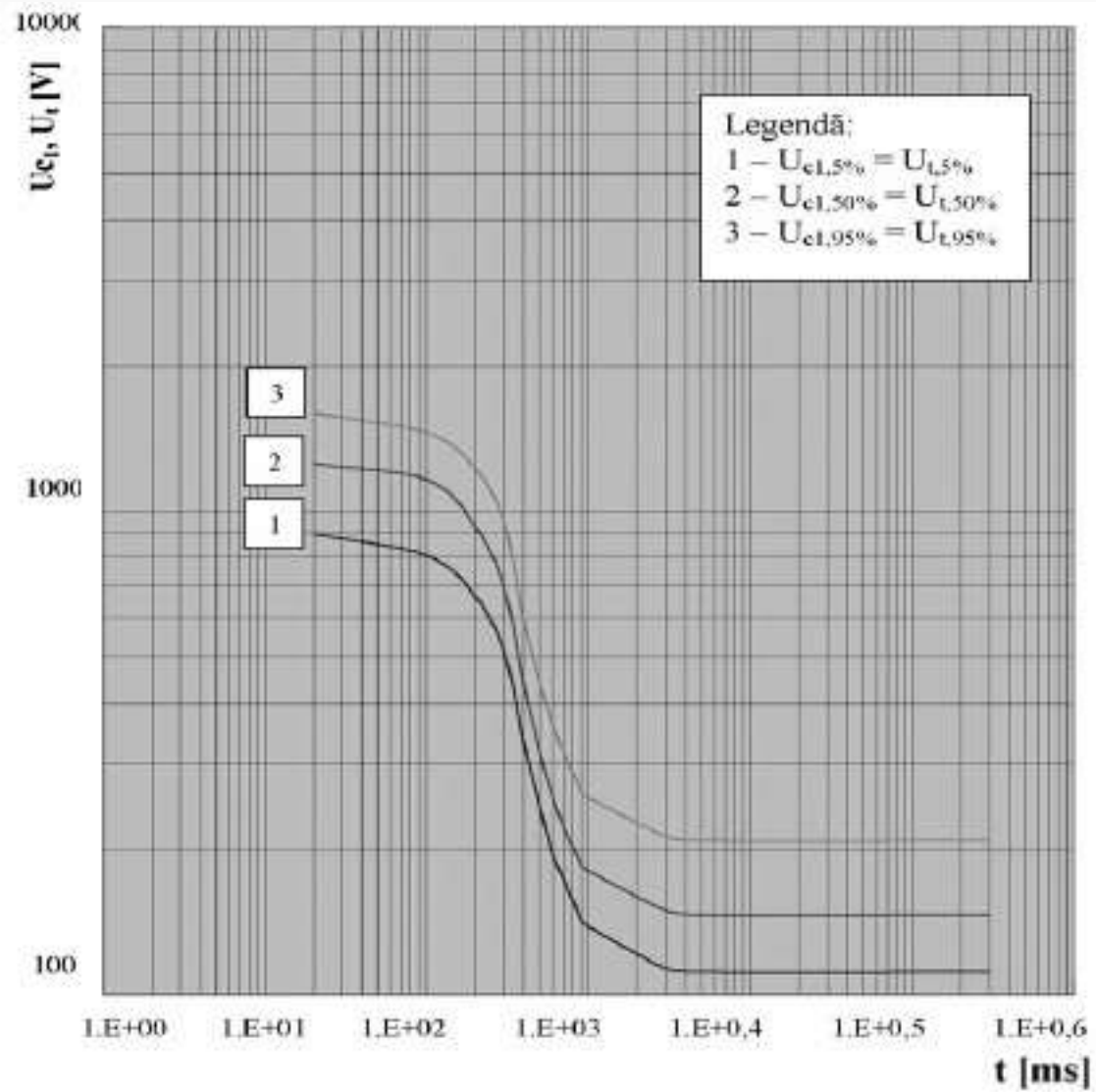
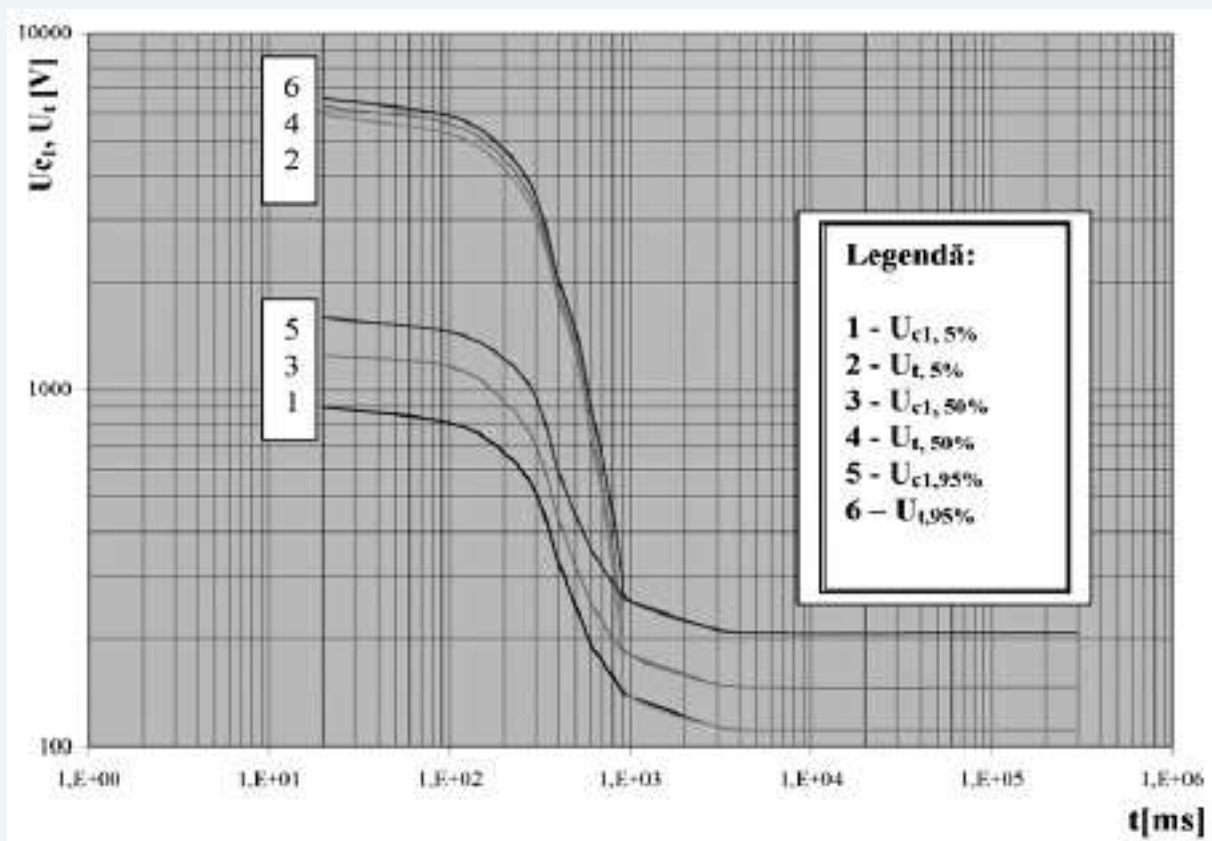


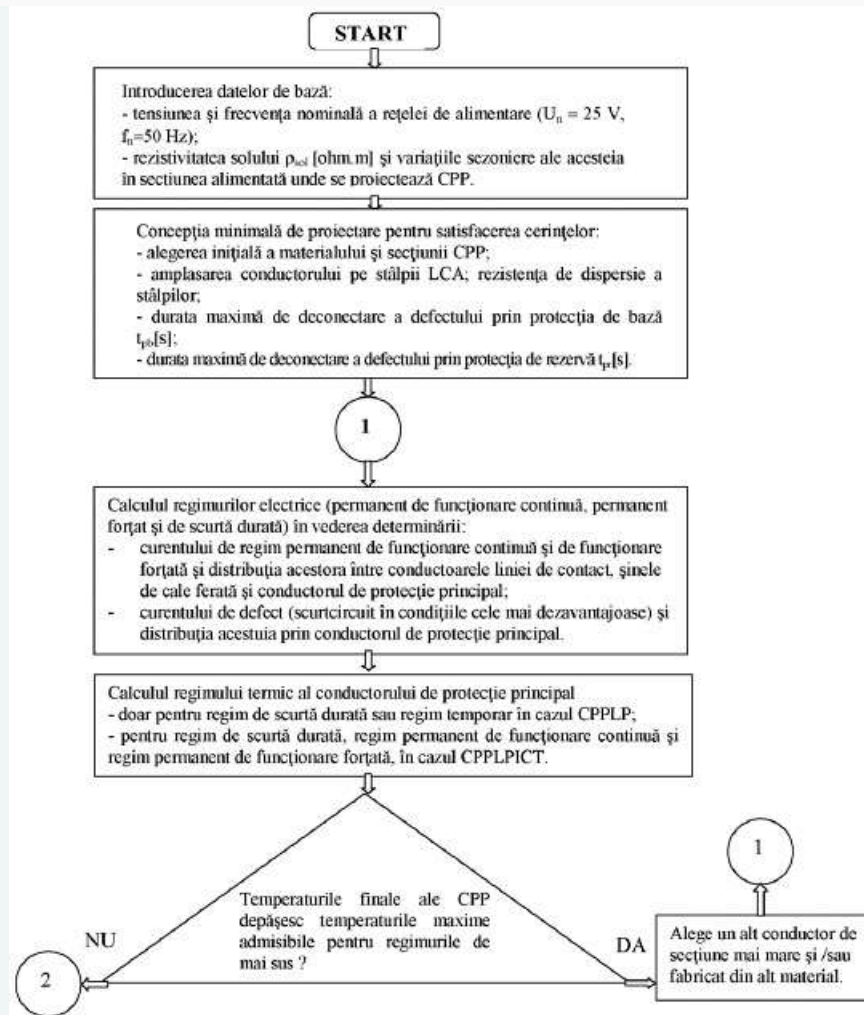
Figura F.2.3*) Limita maximă a tensiunii între punctele de atingere ale corpului uman $U(c1)(t)$ și a tensiunii de atingere/accesibile $U(t)(t)$ pentru calea de curent prin corp: picior stâng - picior drept, cu $R(A) = 4000$ Ohmi



*)

Figurile F.2.2 și F.2.3 sunt reproduse în facsimil.

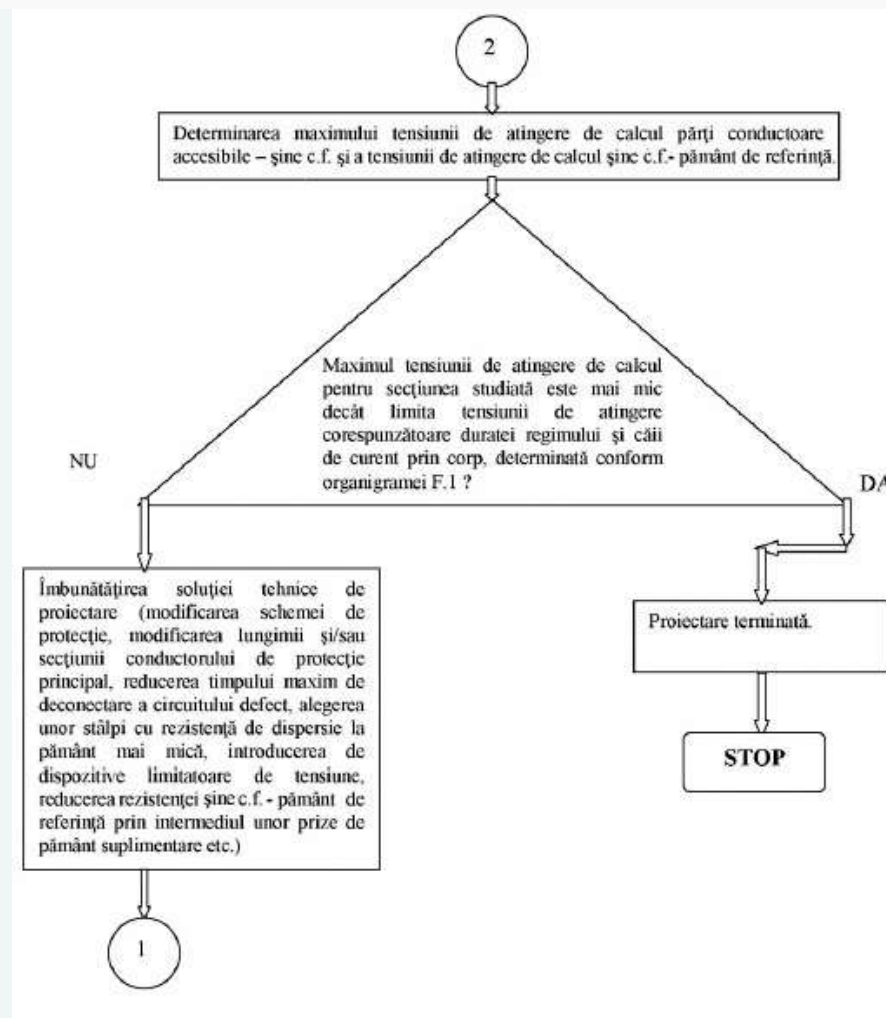
Figura F.3.1*) Organigrama calculelor privind proiectarea
instalațiilor de protecție care utilizează conductor
de protecție principal



*)

Figura F.3.1 este reprodusă în facsimil.

Figura F.3.1 (continuare)



(informativă)
la normativul feroviar

Exemple de scheme electrice pentru conexiunea CPP la
instalațiile IFTE și SCB

G.1.

- Scheme electrice pentru instalații care utilizează conductor de protecție principal tip CPPLP

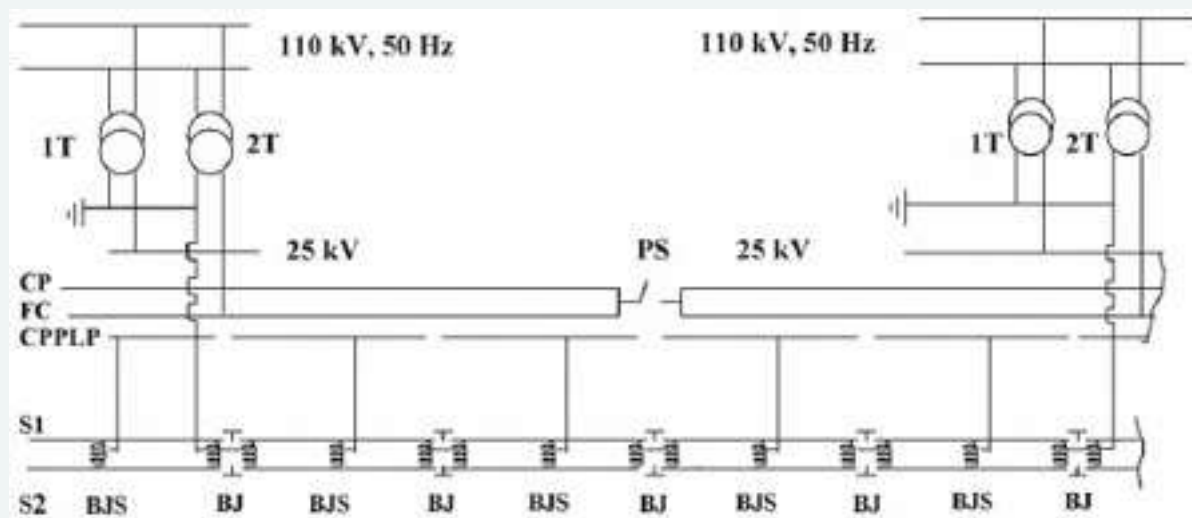


Figura G.1.1*) Schemă electrică pentru linie simplă de
cale ferată echipată cu circuite de cale bifilare

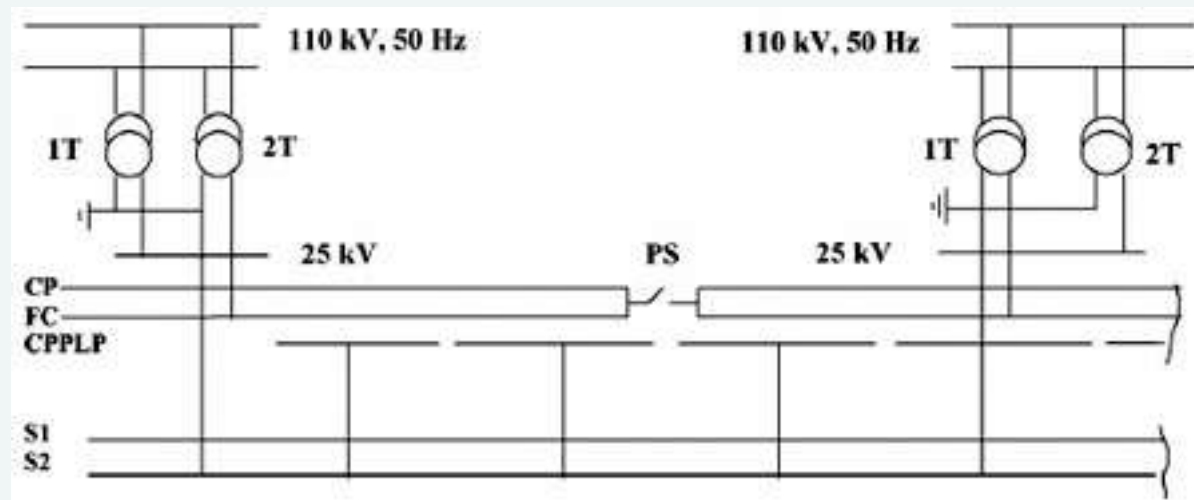


Figura G.1.2*) Schemă electrică pentru linie simplă de cale ferată echipată cu circuite de cale monofilare sau neechipată cu circuite de cale

*)

Figurile G.1.1 și G.1.2 sunt reproduse în facsimil.

NOTĂ:

În figurile G.1.1 și G.1.2, șinele căii ferate s-au notat cu S1 și S2, iar transformatoarele de putere din STEF cu 1T, respectiv 2T; celelalte abrevieri folosite sunt explicate la pct. 1.6 din textul normativului feroviar.

G.2.

- Scheme electrice pentru instalații care utilizează conductor de protecție principal tip CPPLPICT

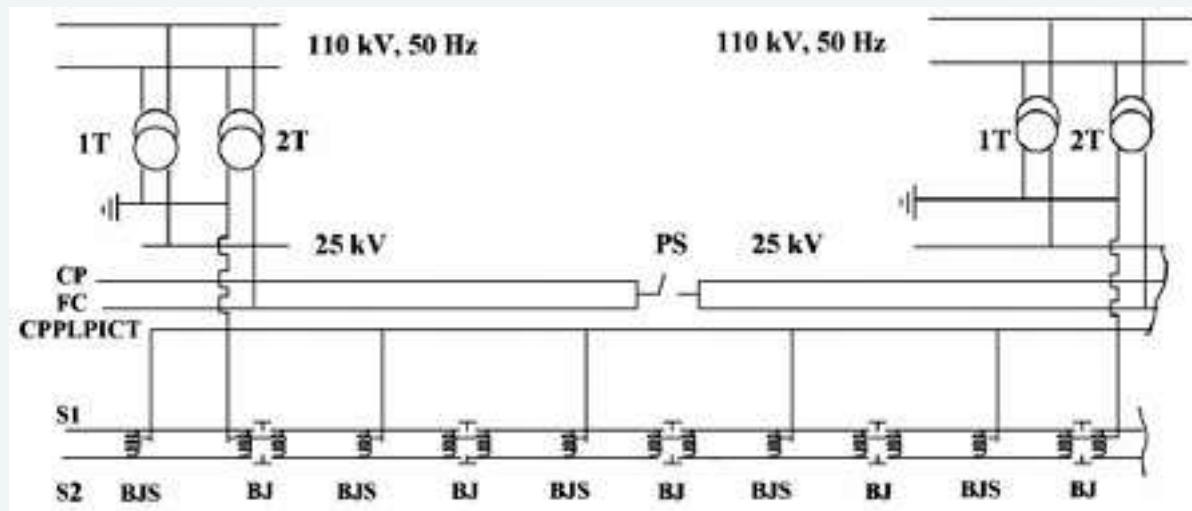


Figura G.2.1*) Schemă electrică pentru linie simplă de cale ferată echipată cu circuite de cale bifilare

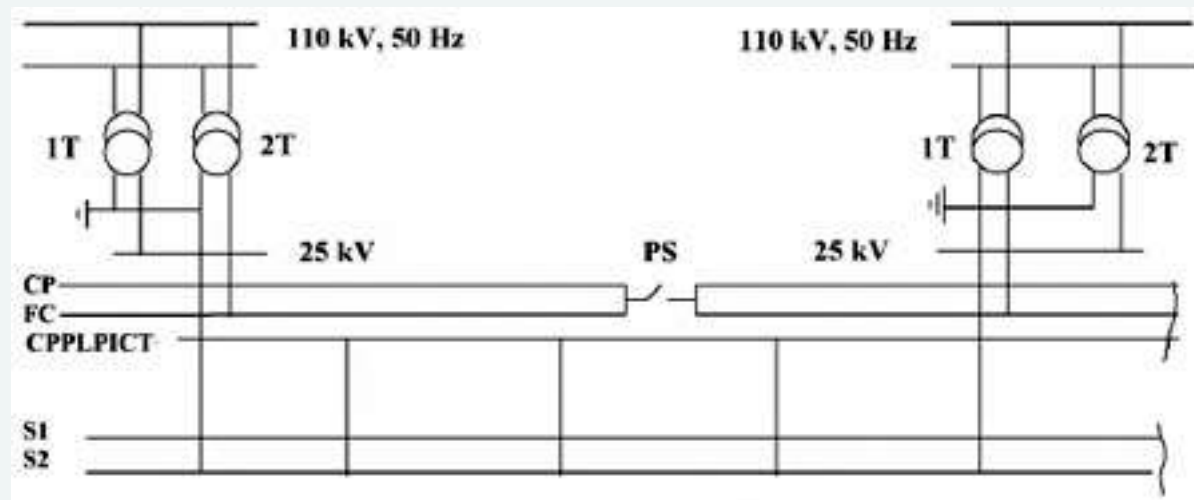


Figura G.2.2*) Schemă electrică pentru linie simplă de cale ferată echipată cu circuite de cale monofilare sau neechipată cu circuite de cale

*)

Figurile G.2.1 și G.2.2 sunt reproduse în facsimil.

NOTĂ:

În figurile G.2.1 și G.2.2, șinele căii ferate s-au notat cu S1 și S2, iar transformatoarele de putere din STEF cu 1T, respectiv 2T; celelalte abrevieri folosite sunt explicate la pct. 1.6 din textul normativului feroviar.