

STUDIUL REȚELEI DE CONTACT

1. Introducere

După modul de alimentare cu energie, există trei tipuri de vehicule de tracțiune electrică:

- vehicule neautonome, la care sursa de alimentare este exterioară vehiculului, alimentarea cu energie fiind făcută de la o linie sau șină de contact a sistemului de tracțiune electrică;
- vehicule autonome, cu sursă proprie de energie (baterii de acumulare, pilă electrică cu combustie, motor termic – generator electric);
- vehicule hibride (cu cel puțin două surse de alimentare, cel puțin una fiind pe vehicul).

Sistemul de alimentare pentru vehiculele electrice neautonome are scopul de a asigura alimentarea vehiculelor cu energie electrică la parametri de calitate ceruți de motoarele de tracțiune și de echipamentele auxiliare. În principiu, sistemele constau din stații de tracțiune, din liniile de contact în c.c. sau c.a. și din diversele echipamente, materiale și sisteme de măsură. Alimentarea de la o linie de contact prin intermediul captatorului de curent (folosită de la începutul tracțiunii electrice) a rămas în principiu la fel, dezvoltările tehnologice adăugând însă un nivel tot mai ridicat în privința puterilor vehiculate, a siguranței și a vitezei de deplasare.

Începuturile sistemelor de tracțiune sunt legate de alimentarea în c.c. datorită forțelor mari de tracțiune oferite de motoarele de c.c., mai ales la pornire. În transportul urban se folosește sistemul de 600Vcc sau 750 Vcc, iar pentru transportul suburban și interurban se folosește sistemul de 1500 Vcc și cel de 3000 Vcc.

Limitele de putere ale sistemului de c.c. au dus la dezvoltarea sistemelor de curent alternativ, mai întâi la frecvențe de 25 Hz și 16,66 Hz (Austria, Germania) și apoi (după dezvoltarea tehnologiilor specifice electronicii de putere) la frecvența de 50 Hz și 25 kV, devenit cel mai folosit sistem din transportul electric feroviar.

Tabelul 1 Valori admise ale tensiunilor în linia de contact

Sistem de tracțiune	U min [V]	Un [V]	U max [V]
c.a. 16 2/3 Hz	12000	15000	17250
c.a. 50 Hz	19000	25000	27500
c.c.	400	600	720
	500	750	900
	1000	1500	1800
	2000	3000	3600

Sistemul de tracțiune trifazat, dezvoltat la începutul tracțiunii electrice, mai este astăzi folosit doar în Elveția și nordul Italiei, în zone muntoase cu declivități mari și pe trasee izolate sau turistice.

Captarea curentului poate fi elastică (rețea de contact) sau rigidă (șină de contact).

Rețeaua de contact este o rețea electrică aeriană montată deasupra căii de rulare și de la care vehiculul preia energia prin intermediul unui captator sau culegător de curent. De notat că unele vehicule (metrou și unele trenuri) sunt alimentate printr-o șină de contact, situată la nivelul solului.

2. Rețeaua de contact pentru tramvaie și troleibuze

2.1 Alimentarea liniei de contact

Rețelele de transport electric urban sunt alimentate în curent continuu de la substații de tracțiune. Substațiile de tracțiune ST sunt alimentate de la liniile de înaltă tensiune LIT ale sistemului energetic trifazat de 110 kV sau 220 kV și 50 Hz. În substații (fig. 1) are loc reducerea nivelului tensiunii trifazate printr-un transformator coborât TC la valorile dorite, precum și convertirea curentului alternativ trifazat în curent continuu (folosind redresorul RD). Pentru un grad sporit în alimentarea cu energie, în substații pot exista două grupuri de forță, unul fiind în funcțiune iar celălalt fiind rezervă.

Tensiunile standardizate la linia de contact în c.c. sunt de 750 V, dar în unele instalații se mai găsesc tensiunile de 500, 550 și mai ales 600 V (standard SR CEI 850). Variațiile de tensiune în raport cu tensiunea nominală la linia de contact (admise de publicația CEI nr. 38) sunt cuprinse între -33% și $+20\%$. În orașele cu tramvaie și troleibuze se pot utiliza aceleași substații pentru alimentarea ambelor tipuri de vehicule. Alimentarea liniei de contact se realizează în general de la ambele capete (alimentare bilaterală). Schema alimentării unilaterale este mai sigură în exploatare, însă conduce la secțiuni de conductori și pierderi de energie mai mari.

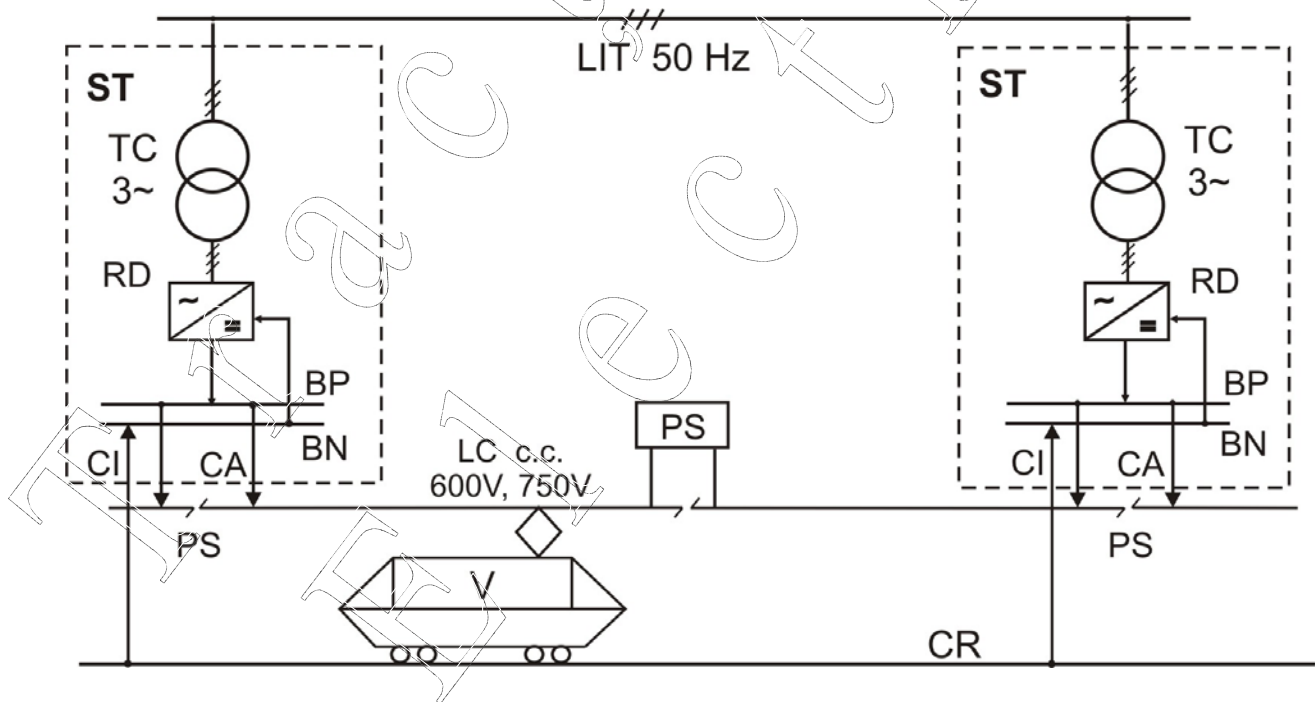


Fig. 1 Alimentarea liniei de contact în c.c. pentru tramvaie și troleibuze.

Pentru reducerea căderilor de tensiune în linia de contact, în cazul liniilor cu cale dublă (cazul cel mai des întâlnit) liniile de contact sunt legate în paralel (fig. 2) prin punți. În general barele pozitive ale substației ST sunt legate la linia de contact sau la șina de contact, întoarcerea curentului fiind asigurată prin șinele căii de rulare care sunt legate la barele negative. În cazul troleibuzelor pentru alimentare se folosesc două fire de contact izolate față de pământ.

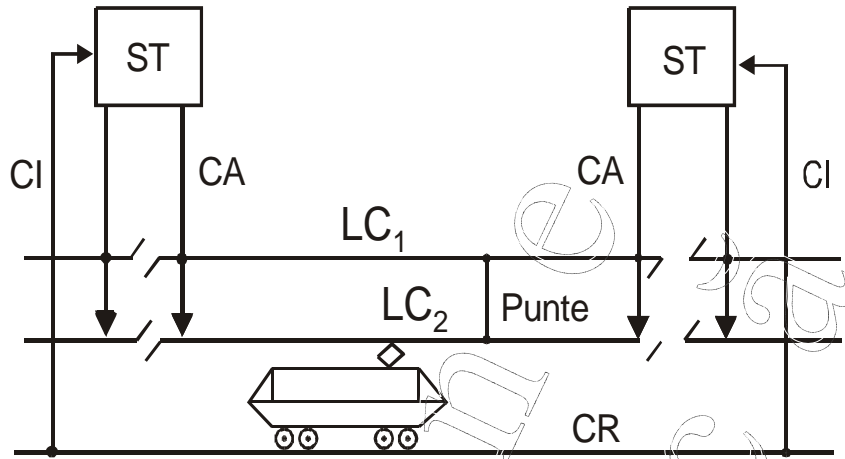


Fig. 2 Legare prin punți a două linii paralele.

În cazul când lungimea liniei de contact este mare iar configurația rețelei complexă, alimentarea se face de la două sau mai multe substații. În această situație, domeniile de alimentare a firului de contact de la diverse substații sunt delimitate de izolatoare de secție (posturi de secționare PS, fig. 1), care asigură atât întreruperea, izolarea electrică a două secții vecine, cât și trecerea culegătorului de curent al unității motoare. La rândul său, fiecare domeniu este împărțit în tronsoane sau secții în lungime de 500÷2000 m, secții de asemenea delimitate de izolatori și alimentate separat. Această dispoziție permite ca fiecare sector alimentat separat să poată fi deconectat în caz de avarie, fără a prejudicia funcționarea sectoarelor vecine.

Rețeaua de contact este formată din: firul sau linia de contact; echipament de suspensie, format din console, sârme și cabluri dispuse transversal sau longitudinal față de calea de rulare; suporturi, care pot fi stâlpi, ziduri sau alte elemente de prindere.

2.2 Firul de contact

Firul de contact se execută, în cele mai multe cazuri, din cupru electrolitic, dintre metale cuprul fiind un foarte bun conductor electric dar și foarte rezistent la factori precum coroziune, apă, substanțe chimice, condiții grele de vreme (poate prelua tensiuni mecanice mari) și se poate alia ușor cu diverse elemente. Astfel, pentru a se mări rezistența la uzură a cuprului, acesta se poate alia cu cadmiul sau magneziul. De asemenea se mai folosesc fire de contact compuse din două părți, cupru cu bronz, aluminiu cu oțel, cupru cu oțel, în care partea conductoare este cuprul sau aluminiul, iar partea de contact și rezistență – bronzul și oțelul. De notat că pentru catenare complexe, necesarul de cupru poate ajunge până la aproape 5 tone pe kilometru, în transportul electric fiind folosit circa 5% din cuprul folosit în Europa. Forma secțiunilor poate fi circulară, cu și fără renură, eliptică, în forma de opt sau de opt turtit (figure 3).

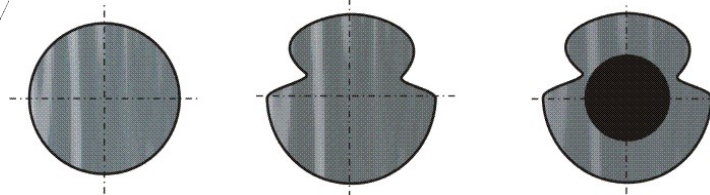


Fig. 3 Secțiune printr-un fir de contact cu renură (din cupru respectiv din cupru și oțel)

Întrucât linia de contact este supusă la un ecart de temperatură de cca. 70°C ($-30\dots+40^{\circ}\text{C}$), pentru a nu avea eforturi de întindere sau săgeți prea mari în firul de contact se execută periodic reglajul tensiunii de întindere cu aparate de reglare.

Tabelul 2. Caracteristici ale firelor de contact

Tipul firului de contact	Secțiunea nominală [mm ²]	Abateri admise ale secțiunii [%]	Diametrul [mm]	Rezistența de rupere [daN/mm ²]	Alungirea [%] (minimum)	Greutatea specifică [daN/Km]
TF 80	80	± 4	10,6	36,3	3,5	712
TTF 100	100	± 4	12,0	36	3,5	890

Dacă axul căii de rulare este în aliniament firul de contact este montat în zig-zag, pentru ca patina pantografului să fie utilizată pe toată lungimea ei. Zig-zagul liniei de contact reprezintă abaterea normală spre stânga și spre dreapta axei catenarei. Dacă ansamblul liniei de contact se montează într-un plan vertical care va trece prin axa căii, aceasta ar însemna că patina pantografului să alunecă în același punct, ceea ce ar conduce la o uzură locală rapidă. Din acest motiv, linia de contact se dispune în zig-zag față de axa căii (fig. 4) și se alege în așa fel încât abaterile orizontale maxime spre dreapta și stânga de la axa liniei să fie în interiorul gabaritului determinat de lungimea patinei captatorului.

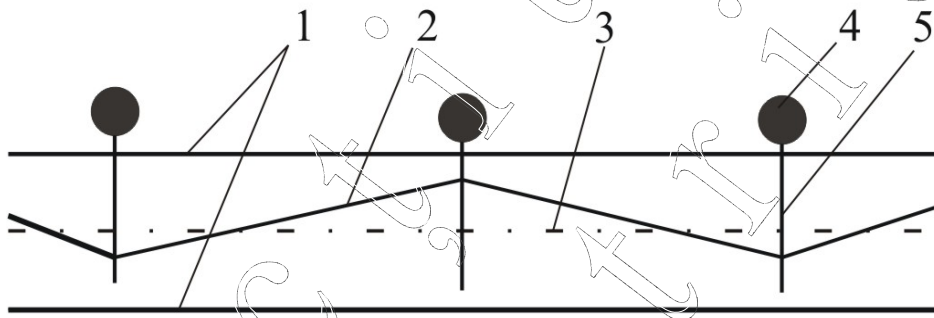


Fig. 4 Zig-zagul firului de contact

1 - calea de rulare; 2 - firul de contact; 3 - axa căii; 4 - stâlp de susținere; 5 - consolă.

Abaterea maximă a firului față de axa căii este de 300...450 mm. Lungimea zig-zag-ului este de 240...280 m, corespunzătoare la 8 suporturi plantați la distanțe de 30...35 m. Firele de contact ale unei linii de tramvai cu cale dublă trebuie unite între ele după fiecare 300÷500 m, cu legături transversale (punți) având secțiunea egală cu secțiunea firului de contact. Pentru rețelele de troleibuz, firul din stânga, în sensul de mers al troleibuzului, este de obicei de polaritate pozitivă. Dispunerea firului de contact în curbe se face pe laturile unui poligon.

Izolarea și suspendarea firului de contact

Izolarea firului de contact la tramvaie trebuie să se facă: față de părțile puse la pământ ale construcțiilor; față de firele de contact ale troleibuzelor; față de conductorii rețelelor de telecomunicații, de iluminat și alte linii electrice.

La troleibuz, izolarea firului de contact de polaritate pozitivă trebuie să fie realizată: față de părțile puse la pământ ale construcțiilor; față de firul de polaritate negativă; față de firul de contact al tramvaiului; față de conductorii rețelelor de telecomunicații, de iluminat, etc.

Amortizoarele de zgomot și suportii de lemn nu se consideră ca formează o izolație. Toate elementele de sârmă și cablu ale rețelei de contact trebuie să fie izolate față de părțile puse la pământ ale construcțiilor.

Echipamentul de suspensie trebuie să permită atât suspendarea și izolarea firului de contact, cât și alunecarea culegătorului de curent (a patinei). Echipamentul de suspensie este reprezentat de cleme. Materialele cele mai des întrebuințate pentru confecționarea izolatoarelor sunt: porțelanul, cauciucul vulcanizat, bachelita.

Suspensia firului de contact poate fi:

1. Suspensie transversală simplă pe cablu, folosită pentru tramvaie pe străzi înguste, pentru viteze până la 40 km/h.

2. Suspensie transversală simplă pe console, folosită atât la tramvaie cât și la troleibuze; în locul cablurilor ce traversează calea de rulare se pot folosi console montate pe stâlpi sau în ziduri.

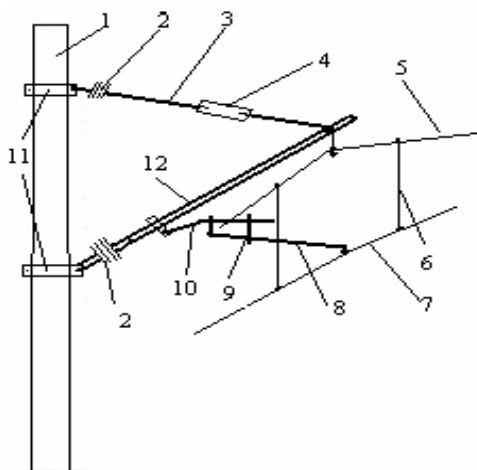


Fig. 5 Console pentru linii de contact cu suspensie multiplă

- 1 – stâlp;
- 2 – izolator;
- 3 – tirant;
- 4 – întinzător;
- 5 – cablu purtător;
- 6 – pendul;
- 7 – fir de contact;
- 8 – fixator;
- 9 – dispozitiv antivânt;
- 10 – portfixator;
- 11 – bridă de prindere;
- 12 – consolă.

3. Suspensie longitudinală catenară, utilizată mai rar în transportul electric urban (pentru viteze de 40...60 km/h). Firul de contact se suspendă la distanțe de 12...15 m, de un cablu purtător (din oțel zincat) prin intermediul unor tiranți de suspensie.

La alegerea tipului de suspensie se au în vedere, printre altele, lărgimea străzii, viteza de circulație, distanța dintre punctele de suspendare a firului de contact, înălțimea de suspensie a firului de contact, posibilitatea de sărire a piesei de contact de pe fir, tipul piesei de contact (glisant sau rolă), tipul vehiculului.

Cel mai important element geometric al suspensiei este înălțimea h de suspensie a firului de contact, considerată în punctele de suspensie față de capul șinei sau al pavajului. Pentru tramvaie $h = 5,5 \div 6,3$ m iar pentru troleibuze $h = 5,6 \div 5,8$ m.

În condiții de echilibru, firul de contact simplu suspendat între doi suportți (stâlpi) consecutivi și tensionat mecanic de către o forță axială se va aranja după o curbă numită "curba lanțisorului" care este prezentată în figura 6.

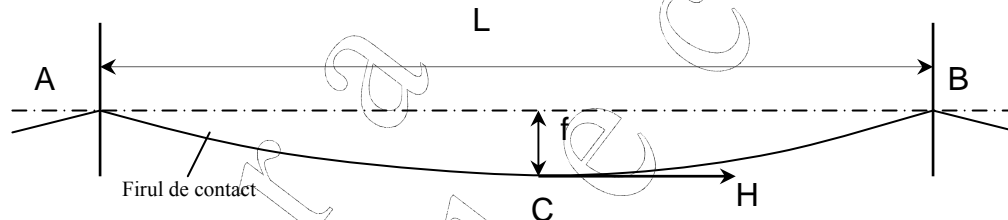


Fig. 6. Dispunerea firului de contact după curba lanțisorului.

Dacă punctele de suspensie (A) și (B) sunt la aceeași înălțime, punctul cel mai jos (C) al firului de contact va fi situat pe axa de simetrie, iar tensiunea mecanică H a firului de contact în

acel punct va fi orientată pe o direcție orizontală. Diferența de nivel dintre punctele (A) și (C) sau (B) și (C), reprezintă săgeata firului de contact.

Pentru valori reduse ale săgeții, “curba lăncișorului” poate fi asimilată cu o parabolă, ceea ce va conduce la formula săgeții firului de contact de forma:

$$f = \frac{gL^2}{8H}$$

unde:

g - reprezintă greutatea pe metru liniar a firului de contact în [N/m];

H - forța de întindere pe orizontală a firul de contact, în [daN];

L - distanța longitudinală între două puncte de susținere consecutive, în [m].

3. Rețeaua de contact pentru trenuri

3.1. Tipuri de catenare

În sistemul de curent monofazat de 25 kV și 50 Hz, curenții sunt mai reduși decât în c.c., astfel încât și secțiunea liniei de contact este mai mică (100÷180 mm²), ceea ce constituie unul dintre avantajele sistemului. În schimb, linia de contact, fiind mai ușoară, devine mult mai repede influențabilă de eforturile datorate arcurilor pantografului.

Suspensia firului de contact este mai complexă decât în sistemele de transport urbane, fiind folosite sistemele numite catenare. Catenarele pot fi:

- catenare multiple,
- catenare cu susținere elastică în Y,
- catenare compund,
- catenare speciale, pentru trenuri de mare viteză.

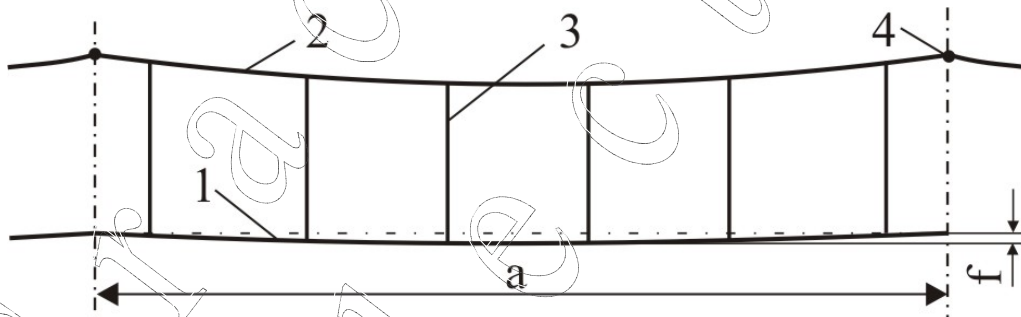


Fig. 8 Catenară multiplă

1 – Fir de contact, 2 – Cablu purtător, 3 – Pendul, 4 – Consolă susținere
a – Deschiderea dintre punctele de susținere, f – Săgeata firului de contact

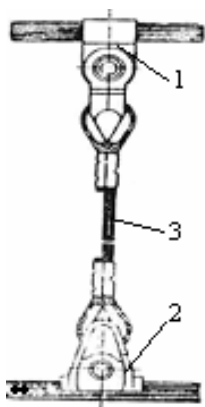
Pentru asigurarea contactului permanent între linia de contact și patina pantografului trebuie ca sistemul catenară:

- să asigure cerințele de curent la vitezele cerute,
- să fie la o înălțime constantă față de calea de rulare,
- să prezinte vibrații, coroziune și încălzire minime.

Catenarele au drept caracteristică critică viteza de propagare a undei în linie. Cu cât vehiculul se apropie de această valoare, cu atât contactul cu pantograful e mai greu de menținut, iar dincolo de 80% din această viteză firul se poate rupe. Valorile actuale pentru fir de cupru permit atingerea de viteze de până la circa 350÷400 km/h.

Pentru calea ferată din România, înălțimea de pozare a firului de contact față de suprafața ciupercii șinei este cuprinsă între un minim de 5250 mm și un maxim de 6750 mm. Deschiderile dintre doi stâlpi consecutivi pentru viteze de 100÷160 km/h, variază între 28 m și 65 m.

Prinderea firului de contact de cablul purtător se face cu pendule simple și cu pendule în Y.



Între firul de contact și cablul purtător se plasează un pendul simplu, figura 9, realizat din sârma de cupru, bronz sau bimetal (fir de oțel în înveliș de cupru) cu diametrul de 4 sau 6 mm.

Fig. 9 Pendul simplu:

- 1 – clema pentru fixare de cablul purtător;
- 2 – clemă pentru fixare de firul de contact;
- 3 – cablul de suspensie al pendulului.

În tabelul 1 se dau principale proprietăți mecanice ale firului de contact din cupru electrotehnic utilizate de către SNCFR cu marca TF 80 și TTF 100.

Tabelul 1

Tipul firului de contact	Secțiunea nominală [mm ²]	Abateri admise ale secțiunii [%]	Diametrul [mm]	Rezistența de rupere [daN/mm ²]	Alungirea [%] (minimum)	Greutatea specifică [daN/Km]
TF 80	80	± 4	10,6	36,3	3,5	712
TTF 100	100	± 4	12,0	36	3,5	890

3.2. Compensarea catenarei

Suspensia poate avea cablul purtător ancorat rigid, iar firul de contact ancorat compensat, adică la un capăt sau la ambele capete este prins la stâlp prin intermediul unui dispozitiv de întindere numit compensator. Acest dispozitiv compensator este realizat din scripeți și un număr de greutateți din prefabricate din beton armat.

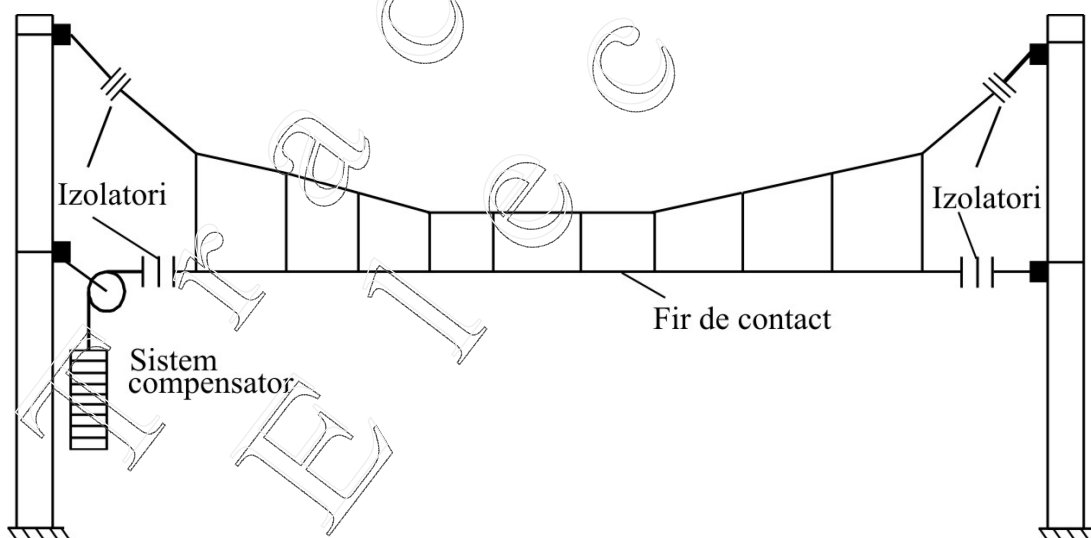


Fig. 10 Suspensie catenară simplă semicompensată.

4. Limite ale captării curentului datorate liniei de contact

În timpul deplasării vehiculului pantograful trebuie să urmărească permanent firul de contact indiferent de variația înălțimii firului și de oscilațiile vehiculului, astfel încât să se evite apariția arcului electric sau întreruperi în alimentarea cu energie. Pantograful este conceput ca un sistem elastic din bare și arcuri amortizoare care să asigure o apăsare constantă și permanentă a firului de contact. Datorită forței de apăsare a patinei, firul se deformează iar deformația este transmisă în lungul liniei, viteza de propagare a undei reprezentând o limită asupra vitezei vehiculului.

La creșterea vitezei vehiculului pot apărea fenomene de rezonanță care pot duce la ruperea firului sau la desprinderea patinei de fir, cu efecte negative asupra alimentării cu energie. Viteza este limitată de masa catenarei, forțele de întindere, forța de apăsare a patinei. Extinderea limitei de viteză dată de catenară este posibilă prin creșterea tensiunii mecanice din fir, pentru trenurile de mare viteză ajungându-se pe linii experimentale la 3000-4000 daN și la viteze de circa 300-350 km/h, viteze mai mari necesitând materiale din cupru aliat sau cupru îmbrăcat în oțel. Astfel, viteza maximă admisă pentru vehicul se poate estima cu relația:

$$v = 3,6 \cdot \sqrt{\frac{T}{\rho}} \text{ [km/h]}$$

unde T este tensiunea în linia de contact [N], ρ este masa pe unitatea de lungime a liniei de contact [kg/m].

De notat că în unele situații (la trecerile directe de la o cale la alta) se poate folosi o linie de contact rigidă, cu avantajul unei rezistențe mult mai mari la ruperi.

Stâlpii de susținere a firului de contact reprezintă locurile unde apare cel mai des desprinderea patinei pantografului de linia de contact pe perioade foarte scurte de timp, figura 11.

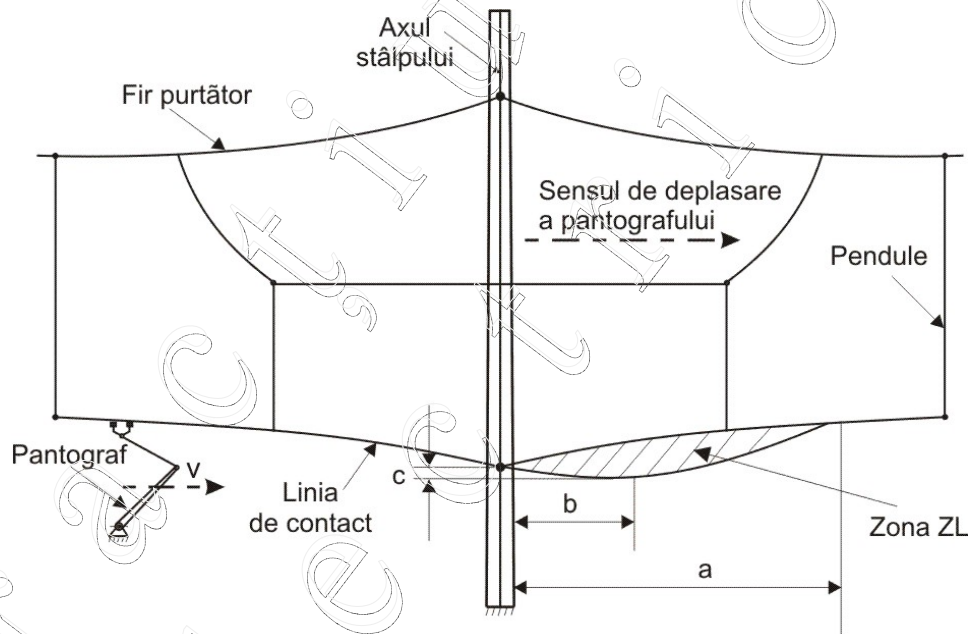


Fig.11 Zona în care poate fi localizată lipsa captării.

În figura 11 se evidențiază zona ZL care este zona de lipsă a interacțiunii pantograf-linie de contact, în care distanța a este lungimea zonei de desprindere, distanța b este distanța pe care pantograful continuă să se deplaseze descendent iar distanța c este distanța verticală corespunzătoare lipsei de contact.

Mersul lucrării

1. Se vor recunoaște piesele existente în laborator și se va executa desenul acestor piese.
2. Se va observa materialul din care sunt confecționate diversele piese, precum și secțiunea firului de contact.
3. Se vor realiza scheme ale rețelei de contact pentru diverse puncte ale rețelei de transport electric urban și feroviar.
4. Se vor sublinia concluziile și observațiile personale.