

Lucrarea 3

REȚEAUA DE CONTACT ȘI TIPURI DE CATENARE

1. Scopul lucrării

Identificarea și însușirea de către studenți a aspectelor legate de construcția și operarea rețelei de contact și a diverselor tipuri de catenare pentru alimentarea vehiculelor electrice neautonome.

2. Rețeaua de contact. Generalități.

Rețeaua de contact, constituie ansamblul instalațiilor fixe din tracțiunea electrică plasate în lungul căii de rulare care servesc la transportul și distribuția energiei electrice de la substațiile de tracțiune către vehiculele electrice neautonome pe tot parcursul lor. Transferul energiei electrice la unitățile motoare se realizează prin intermediul unui contact electric alunecător între linia de contact și un dispozitiv de captare. Captarea prin contact electric alunecător se poate realiza fie de la o linie elastică, numită linie de contact elastică, fie de la o șină rigidă, numită linie de contact cvasirigidă sau șină de contact.

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 acumulatori, 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 parametrii de calitate ceruți de motoarele de tracțiune și de echipamentele auxiliare. În principiu sistemele constau din substații de tracțiune, din liniile de contact în

c.c. sau c.a. și din diversele echipamente și materiale necesare în sistemul de alimentare. 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.

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.

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

Tabelul 1 Valori admise ale tensiunilor în linia de contact

Sistem de tracțiune	U min [V]	U _n [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

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 (figura 1) are loc reducerea nivelului tensiunii trifazate

printr-un transformator coborâtor 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. Variațiile de tensiune în raport cu tensiunea nominală la linia de contact 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.

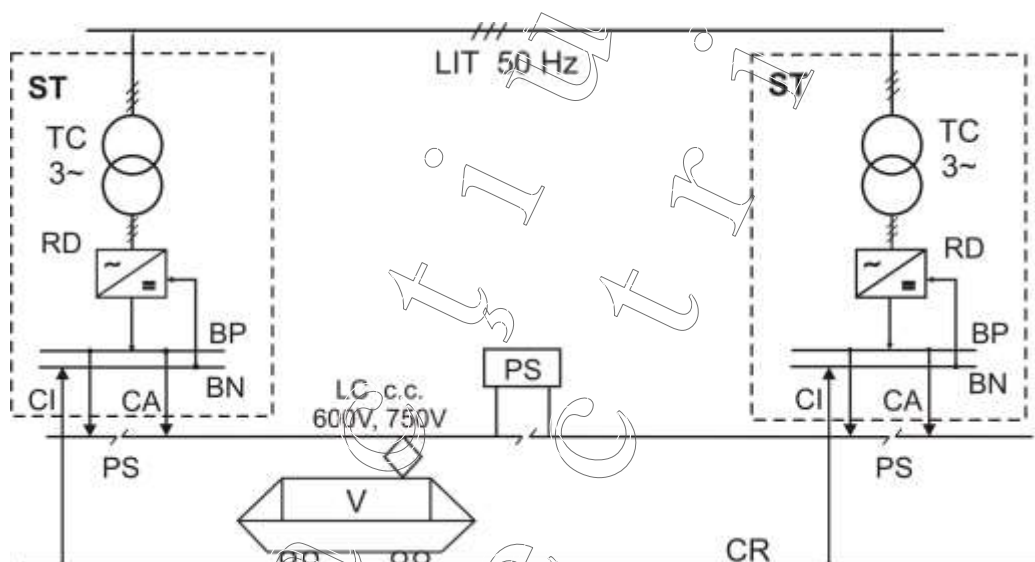


Figura 1. Alimentarea liniei de contact în c.c. pentru tramvaie și troleibuze.

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, figura 1), care asigură atât întreruperea, izolarea electrică a două secții vecine, cât și trecerea culegătorului de curent al vehiculului.

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 din apropiere.

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. Pentru a se măări rezistența la uzură a cuprului, acesta se poate alia cu cadmiul sau magneziu și 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 (figura 2).

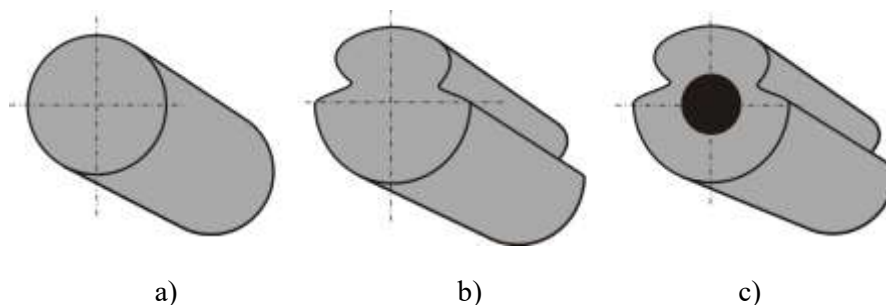


Figura 2. Tipuri de fir de contact: a) cu secțiune rotundă; b) cu secțiune eliptică cu renură; c) cu secțiune eliptică cu miez de oțel.

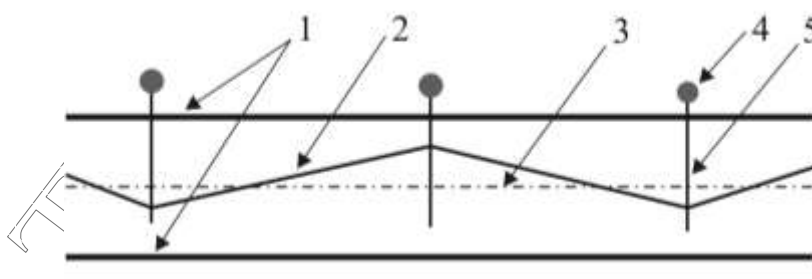
Întrucât linia de contact este supusă la o variație de temperatură de circa 70°C (-30°C la +40°C), pentru a nu avea eforturi de întindere sau săgeți prea mari în firul de contact se execută periodic reglajul tensiunii de întindere cu aparate de reglare.

Tabelul 2 Caracteristici ale firelor de contact.

Tipul firului de contact	Secțiunea nominală [mm ²]	Diametrul [mm]	Rezistența de rupere [daN/mm ²]	Alungirea [%] (minimum)	Greutatea specifică [daN/Km]
TF 80	80	10,6	36,3	3,5	712
TTF 100	100	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 alunece 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 (figura 3) 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.

Atunci când cablul purtător are aceleași zig-zag ca și firul de contact, deci cablul purtător și firul de contact sunt cuprinse în același plan vertical, pendulele fiind orientate vertical, avem o catenară verticală, firul de contact și cablul purtător fiind suprapuse ca zig-zag.

**Figura 3.** Zig-zag-ul 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 izolatorilor 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.

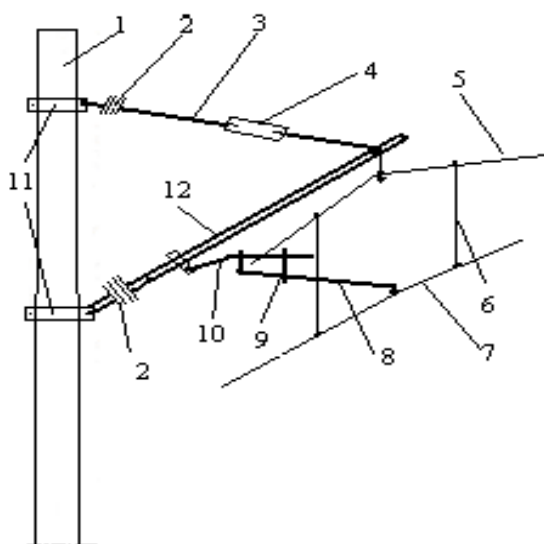


Figura 4. Consolă pentru linii de contact cu suspensie multiplă.

- 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 $12 \div 15$ 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 suporti (stâlpi) consecutivi și tensionat mecanic de către o forță axială se va aranja după o curbă numită “curba lanțișorului” care este prezentată în figura 5.

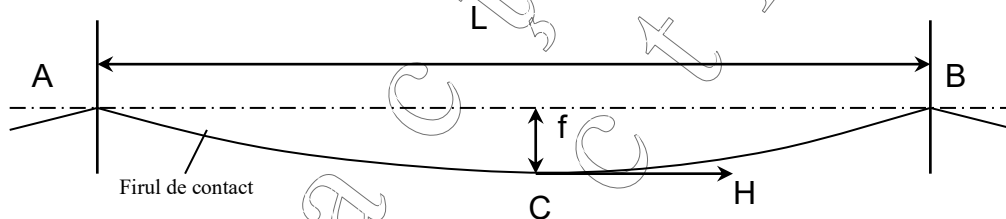


Figura 5. Dispunerea firului de contact după curba lanțișorului.

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 lanțișorului 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 suspensie 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 ($100\div 180 \text{ mm}^2$), 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 suspensie elastică în Y,
- catenare compund,
- catenare speciale, pentru trenuri de mare viteză.

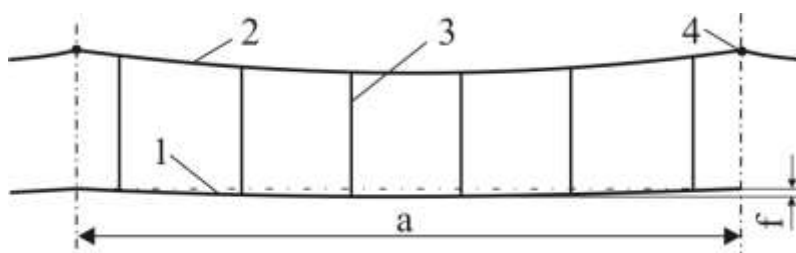


Figura 6. Catenară multiplă.

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

Catenara multiplă

Pentru un contact de bună calitate, firul de contact trebuie suspendat la distanțe relativ mici, astfel încât săgeata sa, respectiv schimbările de direcție în plan vertical, să nu fie cauza unor perturbații în captarea curentului.

Acest tip de suspensie catenară se folosește pe liniile de medie și mare viteză respectiv cu trafic intens. În acest caz firul de contact este suspendat prin intermediul pendulelor, care sunt fixate la rândul lor de cablul purtător. O asemenea suspensie catenară se prezintă în Figura 7, [Can1].

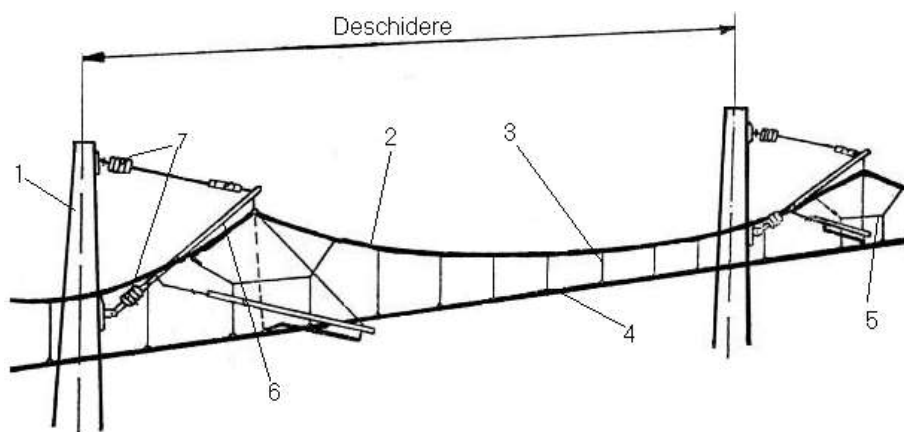


Figura 7. Dispunerea catenarei multiple.

1 - stâlp; 2 - cablu purtător; 3 - pendul; 4 - firul de contact; 5 - suspensie elastică în Y;
6 - consolă; 7- izolatori.

Pentru ca firul de contact să nu fie deviat de vânt și pentru a uniformiza uzura barei captatoare de la pantograf, poziția firului față de axa căii de rulare se fixează prin dispozitive speciale numite fixatoare și care sunt în dreptul fiecărui stâlp de susținere. Pentru ca fixatorul să nu fie agățat de către pantograf atunci când în trecere acesta apasă în sus firul de contact, fixatorul este fixat de un portfixator mai sus decât firul de contact.

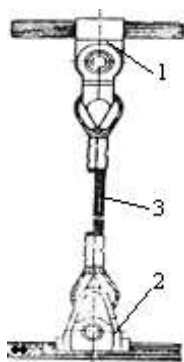
Pentru asigurarea contactului permanent între linia de contact și patina pantografului trebuie ca sistemul catenară:

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

Catenarele au drept caracteristică critică viteza de propagare a unde 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.

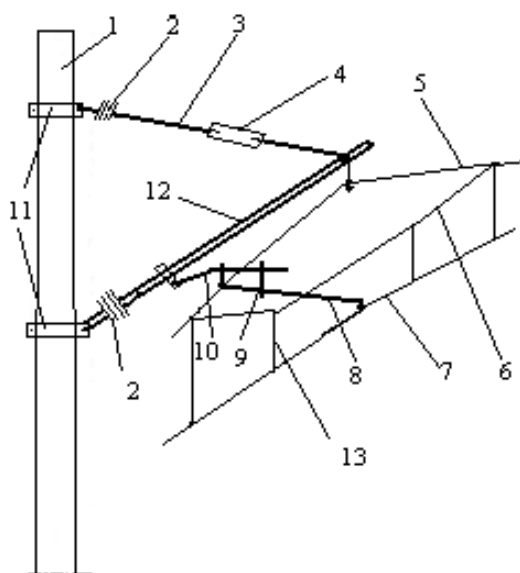
Prinderea firului de contact de cablul purtător se face cu pendule simple și cu pendule în Y.



Între firul de contact și cablul purtător se plasează un pendul simplu, figura 8, realizat din sârma de cupru, bronz sau bimetale (fir de oțel în înveliș de cupru) cu diametrul de 4 sau 6 mm.

Figura 8. Pendul simplu. 1 – clemă pentru fixare de cablul purtător; 2 – clemă pentru fixare de firul de contact; 3 – cablul de suspensie al pendulului.

Catenara cu suspensie elastică în Y



Din categoria suspensiilor catenare multiple, face parte și catenară cu suspensie elastică în Y, numită uneori și catenară cu cablul purtător în Y. Această catenară prezintă în dreptul stâlpului de susținere un sistem de susținere cu pendule elastice în formă de Y, care are drept scop o atenuare a eventualelor discontinuități de captare. Dispunerea la stâlp a catenarei cu suspensie în Y este prezentată în figura 9.

Figura 9. Catenară simplă cu cablul purtător în Y: 1 – stâlp; 2 – izolator; 3 – tirant; 4 – întinzător; 5 – cablu purtător; 6 – cablu în Y; 7 – firul de contact; 8 – fixator; 9 – dispozitiv antivânt; 10 – portfixator; 11 – bridă de prindere; 12 – consolă; 13 – pendul.

În general, liniile de 25 kV monofazate sunt echipate cu suspensii catenare simple însă, acest tip de catenară este utilizată și în curent continuu în ciuda curenților mari care circulă prin catenară. Pentru această situație se prevăd două fire de contact și un număr mai mare de pendule ceea ce va duce la o creștere semnificativă a masei catenarei pe o deschidere.

Catenara compound

Catenara compound conține un cablu purtător principal, un cablu purtător auxiliar prins de cablul purtător principal prin intermediul unor pendule echidistante.

În Figura 10 se prezintă schema unei catenare compound în dreptul stâlpului de susținere, cu următoarele elemente componente: 1 – stâlp; 2 – izolator; 3 – tirant; 4 – întinzător; 5 – cablu purtător principal; 6 – cablu în Y; 7 – firul de contact; 8 - fixator; 9 - dispozitiv antivânt; 10 – portfixator; 11 – bridă de prindere; 12 – consolă; 13 – pendul simplu; 14 – cablu purtător auxiliar.

Prin prezența cablului auxiliar în construcția catenarei compound se atenuează punctele dure din dreptul suportilor ducând la creșterea vitezei de trafic până la 200Km/h, iar greutatea relativ mare a catenarei duce la o insensibilitate relativă față de vântul lateral.

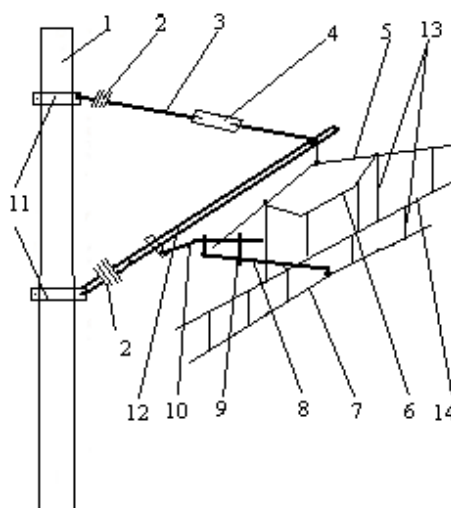


Figura 10. Catenară compound în dreptul stâlpului de susținere.

Catenara poligonală

Catenara poligonală se regăsește pe porțiunile în curbă ale liniei ferate, proiecția în plan orizontal a catenarei verticale apărând sub forma unei linii poligonale. Fiecare conductor descrie un poligon datorită unor vîrfuri ce corespund suportilor. O soluție în vederea reducerii variației săgeții firului de contact cu temperatura este echiparea catenarei cu console pivotante și dispozitive de reglare a tensiunii mecanice. Cu acest dispozitiv valoarea săgeții firului de contact scade mult, crescând în acest sens și viteza de circulație.

Catenara înclinată

Catenara înclinată se folosește în special în curbe, figura 11. Dacă firul de contact este așezat în zig-zag iar cablul purtător este păstrat în axa căii, catenara se numește semiînclinată. În cazul în care cablul purtător urmărește un zig-zag în sens contrar zig-zagului corespunzător firului de contact, catenara este de tip înclinată, [Can1]. Catenara înclinată se comportă bine la acțiunea vântului și în curbe (unde deschiderile între stâlpi pot fi mărite).

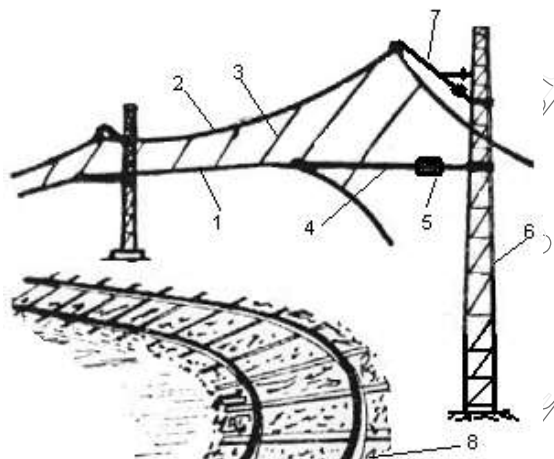


Figura 11. Schema unei catenare înclinate în curbe: 1 - firul de contact; 2 - cablul purtător; 3 - pendul; 4 - consolă; 5 - izolator; 6 - stâlp; 7 - tirant; 8 - calea de rulare.

Catenara antirezonanță

Această catenară, realizată de Administrația căilor ferate japoneze, prezintă o dispunere a pendulelor de prindere a firului de contact de cablul purtător la intervale variabile eliminându-se prin aceasta eventualele fenomene de rezonanță care pot să apară. Datorită spațiului variabil dintre pendule, catenara antirezonanță prezintă o rigiditate uniformă.

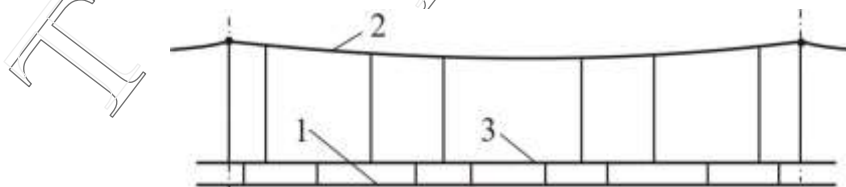


Figura 12. Catenara antirezonanță.

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.

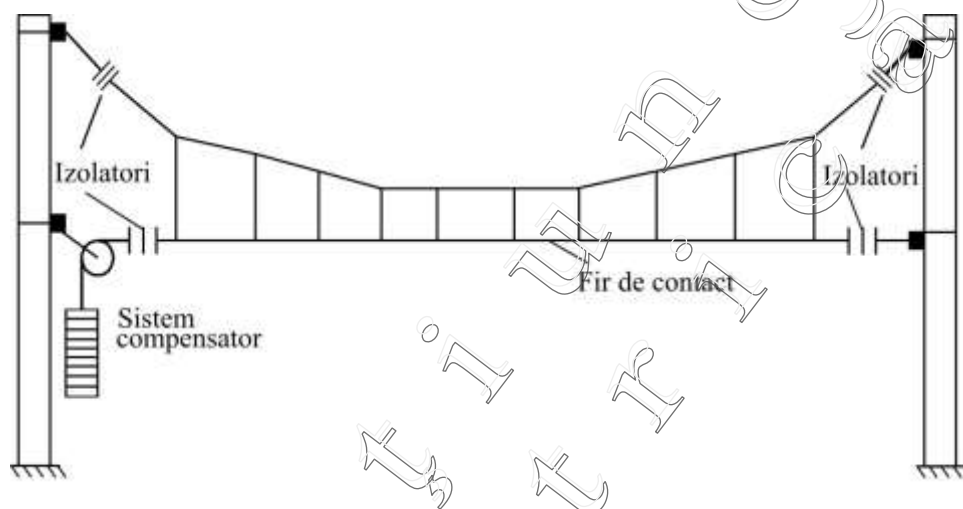


Figura 13. Suspensie catenară simplă semicompensată.

Catenara compensată este aceea la care atât firul de contact, cât și cablul purtător sunt ancorate prin intermediul compensatoarelor. Dispozitivul de compensare poate fi comun așa cum se vede în Figura 14 sau separat pentru fiecare conductor în parte. Ancorarea compensată asigură o captare a curentului electric bună pentru viteze de 160 km/h.

Pentru compensarea dilatării termice, întinderea firelor se face prin intermediul unor sisteme de scripeți și a unor greutateți, care lăsate libere asigură o tensionare constantă în orice condiții de mediu, sistemul de reglare numindu-se reglare automată. Cel mai utilizat sistem compensator este cel cu greutateți, dar există și sisteme de compensare cu arc.

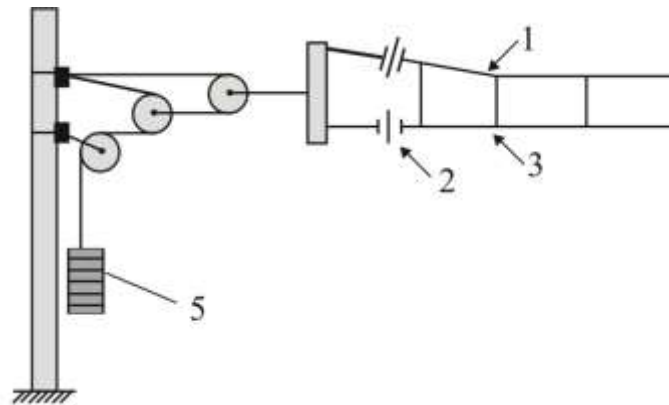


Figura 14. Ancorarea compensată.

Mersul lucrării și conținutul referatului

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.