

Lucrarea 7

STUDIUL CAPTATORILOR DE CURENT

1. Scopul lucrării

Familiarizarea studenților cu captatori de curent specifici pentru diverse tipuri de vehicule de tracțiune electrică. Estimarea caracteristicii statice a unui pantograf asimetric.

2. Captatori de curent de tip pantograf

Vehiculele electrice neautonome sunt alimentate de la linia sau șina de contact prin intermediul unui captator de curent. Acesta are rolul de a prelua energia electrică de la linia de contact și de a o transfera pe vehicul.

Captarea prin contact se poate realiza fie de la o linie elastică, fie de la o șină rigidă folosind un contact electric alunecător sau rostogolitor. Ca dispozitive de susținere a piesei de contact se folosesc trolee în formă de bară, lire sau pantografe. Elementele de contact pot fi rostogolitoare (scripete sau role) și alunecătoare (patină longitudinală pentru troleibuze sau patină transversală pentru tramvai. Condițiile de efort și viteză sporită au impus în exploatare captatorii de tip pantograf prevăzuți cu patină transversală, care oferă performanțele cele mai bune pentru cele mai multe tipuri de vehicule electrice.

2.1. Pantograful simetric

Este un tip de pantograf utilizat în special pe vehicule de transport urban, de viteză medie. Pantograful este fixat de acoperișul (1) al vehiculului prin intermediul unor izolatori (2).

De baza pantografului sunt legate articulat barele inferioare (3) care au posibilitatea de a se roti în jurul articulațiilor (4). Cele două articulații sunt legate între ele cu o tijă metalică (5) și două manivele (6). Acest sistem asigură rotirea barelor inferioare cu unghiuri egale, dar de semne contrare. Această egalitate a unghiurilor de rotire are o mare importanță pentru menținerea la același nivel a articulațiilor A și B, respectiv deplasarea pe verticală a portpatinei (9).

În articulațiile A și B se prind, cu câte un capăt, barele superioare (7), celălalt capăt al lor fiind prins în articulația superioară C de care se fixează articulat portpatina (8). Pe portpatină se fixează patina pantografului (9) care constituie piesa aflată în contact direct cu firul de contact.

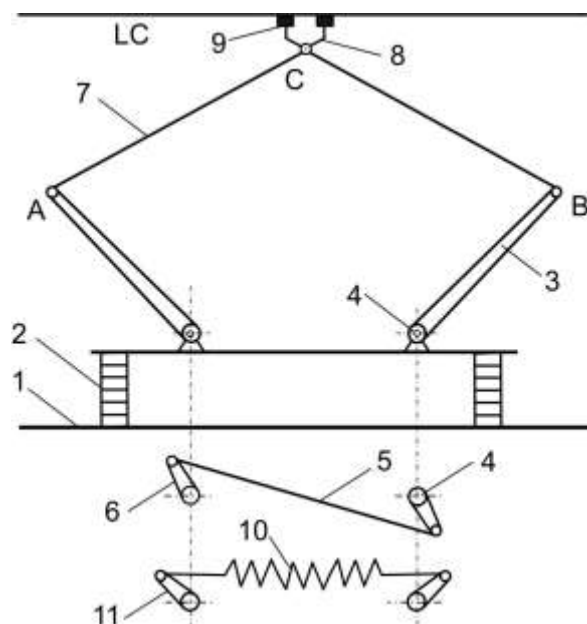


Figura 1. Pantograf simetric în poziție ridicat.

Cuplul necesar ridicării pantografului și asigurării unei presiuni date patinei pe firul de contact este asigurat de un arc (10) legat de barele inferioare (4) prin manivela (11). Deoarece elementele superioare ale pantografului au deplasări mai mari decât cele inferioare, este deosebit de important ca portpatina și elementele care o susțin să fie cât mai ușoare.

2.2. Pantograful asimetric

Pantografele simetrice prezintă inconvenientul de a avea dimensiuni în plan mari și un număr mare de articulații, care cresc vibrațiile în sistem. Pentru reducerea masei, se folosesc pantografe alcătuite tot dintr-un sistem articulat, însă mai simple, de tip asimetric compus din (Figura 2): baza (1) a pantografului, brațul superior (2), axul (3) al brațului inferior, brațele superioare (4), bieleta de împingere (5), palierul de articulație (6) pe baza pantografului pentru bieleta de împingere, bieleta de poziție (7) a portpatinei, manivele bieletei de poziție (8), portpatina (9), suspensia (10) a portpatinei, patinele (11), resoartele (12). Circulația la viteze mari și foarte mari ridică probleme privind construcția pantografului. Datorită deplasării pe orizontală cu viteze mari, chiar și variațiile mici ale poziției firului de contact în plan vertical reclamă realizarea unor accelerații verticale mari ale pantografului.

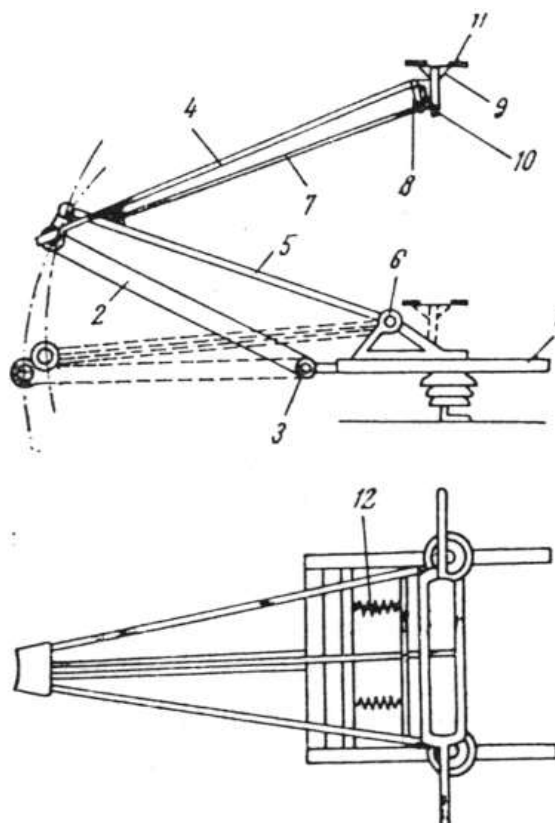


Figura 2. Pantograf asimetric.

Presiunea aerului ia valori însemnate, ceea ce face ca proprietățile aerodinamice ale pantogarfului să influențeze substanțial presiunea pe firul de contact. În acest sens, valoarea componentei dinamice depinde de mai mulți factori, precum, forma generală a pantogarfului și mai ales a portpatinei și patinei, poziția pantogarfului pe acoperiș și forma cutiei locomotivei.

2.3. Acționarea pantogarfului

Pantografele vehiculelor trebuie să realizeze două poziții: coborât și respectiv ridicat sau de lucru. Operațiile propriu-zise se realizează sub acțiunea unui sistem de arcuri și a unui mecanism pneumatic. Aerul comprimat, ca element de antrenare, poate interveni fie la coborârea fie la ridicarea pantogarfului. În primul sistem ridicarea pantogarfului se face cu ajutorul unor arcuri care se armează la coborârea pantogarfului. Menținerea pantogarfului în poziția coborât se face cu ajutorul unei piedici mecanice. Pentru ridicare este suficient să se elibereze mecanismul. Acest sistem are avantajul că la ridicarea pantogarfului are loc și stabilirea contactului electric între patină și linia de contact, ridicarea realizându-se și în lipsa aerului comprimat.

La al doilea sistem, ridicarea pantogarfului se face cu ajutorul aerului comprimat, care continuă să apese asupra pistonului în tot timpul cât pantograful este în poziție de lucru. Coborârea pantogarfului se face prin

evacuarea aerului comprimat din cilindrul de acționare, fie doar prin acțiunea propriei greutate, fie sub acțiunea combinată a greutății proprii și a unor arcuri care la ridicare sunt armate (tensionate sau comprimate).

3. Problemele captării prin pantograf

Principala cerință ce se impune sistemului de captare este să asigure o captare bună a curentului indiferent de înălțimea de lucru, puterea cerută la obadă și viteza de deplasare a vehiculului. În acest scop, dispozitivul de culegere trebuie să aibă un plan de contact independent de mișcările sistemului articulat, o inerție redusă, stabilitate laterală și transversală bună, să realizeze în regim static și dinamic o presiune de contact independentă de înălțimea de lucru, să fie puțin sensibil la efectele aerodinamice. Tuturor acestor cerințe le corespund mai bine pantografele asimetrice.

În general, se admite că pe lângă mișcarea liniară a culegătorului dată de deplasarea vehiculului, mai există o mișcare oscilant amortizată a firului de contact și o mișcare cu oscilații întreținute a patinei culegătorului. În acest sens, se pornește de la observația că sistemul elastic al catenarei permite ca forța de apăsare a patinei să învingă forța elastică și masa echivalentă a firului, ridicându-l (figura 3). După trecerea patinei, firul cade sub acțiunea propriei greutate, executând o mișcare oscilant amortizată.

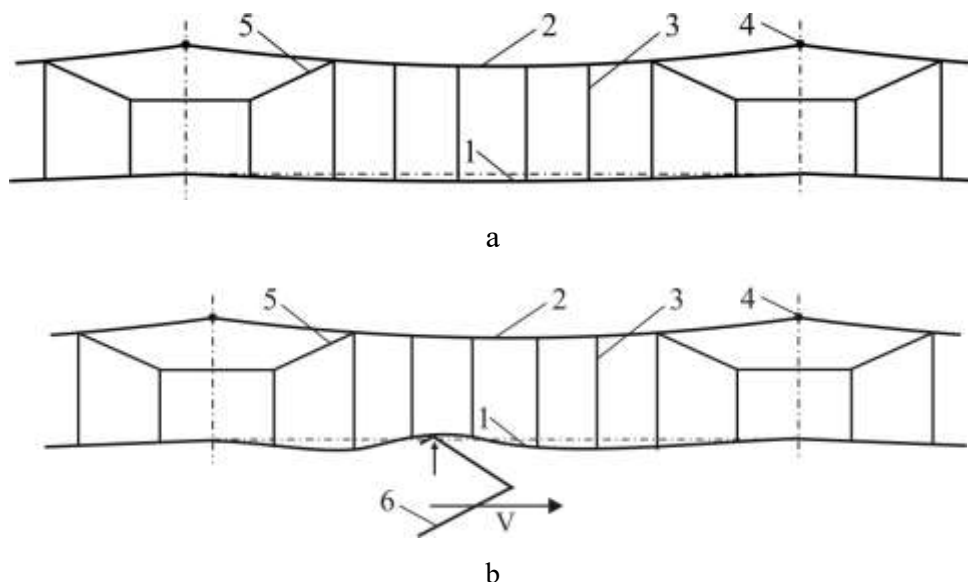


Figura 3. Ridicarea firului de contact de către pantograf .

1 – Fir de contact, 2 – Cablu purtător, 3 – Pendul, 4 – Consolă susținere
5- Pendule elastice în formă de Y, 6 – Pantograf, v- Viteza vehiculului.

Pe de altă parte, variația de rigiditate a firului de contact, diferențele de nivel și concentrările de masă, care variază în lungul firului de contact, determină o variație care poate fi aproximativ sinusoidală a efortului dezvoltat de culegător în planul vertical a patinei. Compunerea celor două miscări oscilante poate duce la fenomene de rezonanță, care în caz extrem fac patina să nu mai poată urmări firul de contact, rezultând desprinderi ale patinei de fir.

Realizarea presiunii de contact

Tinând seama de forțele ce concurează la obținerea presiunii efective de contact, F_{Ef} , dintre culegător și linia de contact, se poate scrie:

$$F_{Ef} = F_A - F_G \pm F_F \pm F_V \pm (F_d + F_e), \quad (1)$$

în care:

F_{Ef} – efortul efectiv de apăsare al pantografului pe linia de contact;

F_A – efortul arcului pantografului;

F_G – efortul datorat greutateii pantografului;

F_F - efortul datorat frecărilor în articulațiile pantografului;

F_V - efortul datorat efectului aerodinamic;

F_d – efortul dinamic datorat deplasării pe verticală a pantografului;

F_e - efortul datorat elasticității liniei de contact.

Toate aceste eforturi sunt dirijate pe verticală, rezultanta lor fiind determinată în punctul de contact dintre patina și linia de contact. Realizarea unei bune captări cere ca efortul F_{Ef} să fie cât mai constant, indiferent de înălțimea de lucru a pantografului și indiferent de viteza liniară cu care acesta se deplasează. Obținerea acestor necesități este mai greu de realizat, întrucât, după cum se vede din relația (1), F_{Ef} depinde de foarte mulți factori, a căror apreciere analitică este dificilă. Astfel, efortul datorat efectului aerodinamic se determină experimental, iar diferența ($F_d - F_e$) cere multe calcule. Într-o primă aproximație se urmărește realizarea în regim static a unui efort F_s cât mai constant la linia de contact, indiferent de înălțimea de lucru H a pantografului.

Dependența $F_s = F_A - F_g \pm F_f = f(H)$ se numește caracteristica statică a pantografului. Aceasta caracteristică statică este reprezentată de două caracteristici: una pentru ridicare și una pentru coborâre, întrucât la ridicare efortul F_f se opune efortului arcului, iar la coborâre se opune tendinței liniei de contact de a apăsa pantograful, ajutând astfel efortul arcului.

În figura 4 se consideră pantograful ca un sistem elastic de ordinul 1 cu două grade de libertate, sprijinit pe un resort cu un coeficient de elasticitate k , care determină forța restauratoare și un sistem de amortizoare vâscoasă b , proporțională cu viteza.

Se au în vedere o serie de ipoteze simplificatoare:

- se consideră pantograful ca sistem mecanic alcătuit din masa M_e acționat de un arc cu coeficient de rigiditate k ;
- asupra pantografului acționează pe direcție verticală o forță $F(t)$ dată de mișcarea de vibrație a firului de contact;
- poziția de echilibru a pantografului este poziție de energie potențială nulă;
- asupra pantografului acționează linia de contact ca o forță perturbatoare dată de vibrația acesteia, F_{LC} , o forță F_A dată de arcurile pantografului și o forță de rezistență F_R care se opune forței F_A .

Se consideră că asupra pantografului acționează doar forța dată de arcurile de lucru și forța dată de vibrațiile pe verticală ale liniei de contact considerată ca o forță perturbatoare armonică de forma $F(t) = F_0(\sin \omega t + \varphi)$ cu amplitudine constantă.

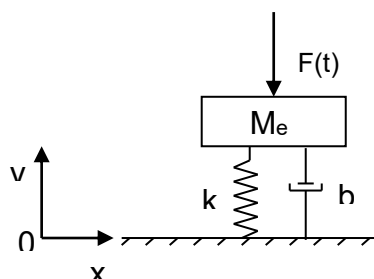


Figura 4. Reprezentarea pantografului considerat cu amortizare.

4. Interacțiunea sistemului pantograf - catenară

La viteze mari de circulație, calitatea contactului depinde de comportarea dinamică a sistemului pantograf - catenară. Trăsătura caracteristică a interacțiunii dintre pantograf și catenară este apariția fenomenului de rezonanță care se manifestă prin mărirea amplitudinii oscilațiilor patinei pantografului în interiorul deschiderii, până la valori la care se produc desprinderi ale acesteia de la linia de contact, având drept consecință o captare a curentului electric nesatisfăcătoare.

Una din problemele principale la construcția și determinarea parametrilor pantografului și catenarei constă în eliminarea completă a condițiilor de apariție a rezonanței, sau, în ultimă instanță, reducerea amplitudinilor de rezonanță până la mărimi nepericuloase, [Nit2]. Dacă viteza critică, ce corespunde începutului fenomenului de rezonanță, nu se suprapune peste viteze normale de circulație, ea poate fi depășită practic fără riscuri cu mențiunea că întotdeauna trebuie prevăzute echipamente ale catenarei care să permită ridicări corespunzătoare în dreptul stâlpilor.

Dimpotrivă, când se situează în gama vitezelor curențe, rezonanța nu trebuie considerată ca un fenomen tranzitoriu, ci ca un fenomen permanent, necesitând măsuri de precauție speciale, [Chi2].

Mișcările sistemului pantograf - catenară fiind destul de complexe, se introduc ipoteze simplificatoare:

- ansamblul pantograf - catenară se asimilează cu un sistem de mase aplicate elastic una peste alta, în care forța de contact care apare între linia de contact și patina pantografului determină variația înălțimii punctului de contact, în corelație cu energia cinetică a celor două mase;
- se consideră sistemul pantograf - catenară cu libertate de mișcare doar în direcție verticală;
- se neglijează forța de frecare dintre firul de contact și patina pantografului, precum și influența aerodinamică a curenților de aer;
- se neglijează repartizarea diferită a suspensiei catenare în lungul unei deschideri;
- înălțimea de ridicare a catenarei la trecerea pantografului este presupusă proporțională cu forța de contact;
- elasticitatea suspensiei liniei de contact variază sinusoidal în lungul unei deschideri;
- forța de contact realizată de sistemul mecanic al pantografului, datorită acțiunii arcurilor de lucru, este constantă în tot domeniul de funcționare;
- forțele de frecare și de amortizare care apar în pantograf și în linia de contact sunt neglijabile;

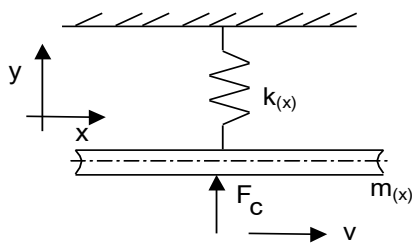


Figura 5. Modelul catenarei.

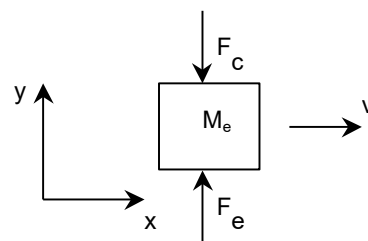


Figura 6. Modelul pantografului.

Ecuția diferențială [Chi2] a mișcării firului de contact pe verticală:

$$m_{(x)} v^2 \frac{d^2 y}{dx^2} = F_c - k_{(x)} y, \quad (2)$$

unde:

$m_{(x)}$ reprezintă masa liniei de contact repartizată în lungul unei deschideri;

$k_{(x)}$ - rigiditatea liniei de contact în lungul unei deschideri;

F_c - forța de contact;

y - amplitudinea mișcării pe verticală;

v - viteza de deplasare pe orizontală a pantografului.

Ecuția diferențială pentru mișcarea pantografului se scrie, [Chi2]:

$$M_e v^2 \frac{d^2 y}{dt^2} = F_e - F_c, \quad (3)$$

unde:

M_e - reprezintă masa echivalentă a pantografului raportată la patină;

F_e - forța elastică dezvoltată de arcurile pantografului.

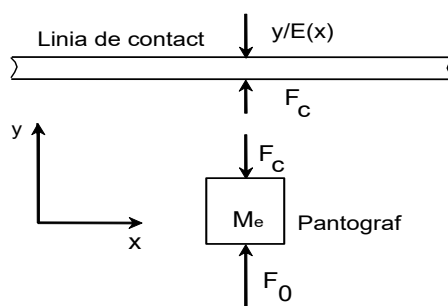


Figura 7. Reprezentarea interacțiunii sistemului pantograf – catenară.

Modelul matematic cel mai simplu pentru interacțiunea pantograf-catenară prezentat în Figura 7, rezultat din combinarea modelelor de mai sus, este dat de relația:

$$(m_{(x)} + M_e) v^2 \frac{d^2 y}{dt^2} + k_{(x)} y = F_e. \quad (4)$$

Dependența de distanță a elasticității liniei de contact apare din cauza principiului constructiv al acesteia. În dreptul stâlpilor, cablul purtător nu participă în mod direct la susținerea firului de contact, spre deosebire de restul deschiderii, unde firul de contact este susținut de către cablul purtător prin intermediul pendulelor. Atunci când firul de contact este ridicat la mijlocul deschiderii, forța care este transmisă prin intermediul pendulelor scade și apare o diminuare a efortului din cablul purtător. Din cauza diminuării efortului, cablul purtător execută și el o ridicare, contribuind astfel la creșterea elasticității. Acest fenomen este mult mai puțin pregnant în dreptul stâlpilor, generând în acest mod o variație a elasticității catenarei în lungul unei deschideri.

Ecuția diferențială a traiectoriei punctului de contact se va scrie sub forma:

Autori: dr.ing. G. Chiriac, dr.ing. C. Nițucă, dr.ing. D. Sticea

$$\left[\bar{m}(1 - \varepsilon_m \cos \omega t) + M \right] \frac{d^2 y}{dt^2} + \mu v \frac{dy}{dt} + \bar{k}(1 - \varepsilon_k \cos \omega t) y = F_0 + \beta v^2 \quad (5)$$

Variația traiectoriei punctului de contact dintre catenară și sistemul de captare este prezentată în Figura 7, din care rezultă oscilațiile semnificative care pot duce la desprinderea patinei de fir și la apariția de defecte în sistemul captator-rețea de contact.

Sistemul de amortizare joacă un rol esențial în deplasarea lină sub linia de contact și captarea curentului în condiții satisfăcătoare. Cu cât pantograful prezintă un sistem de amortizare performant și o construcție aerodinamică corespunzătoare, cu atât transferul curentului electric se face în condiții optime.

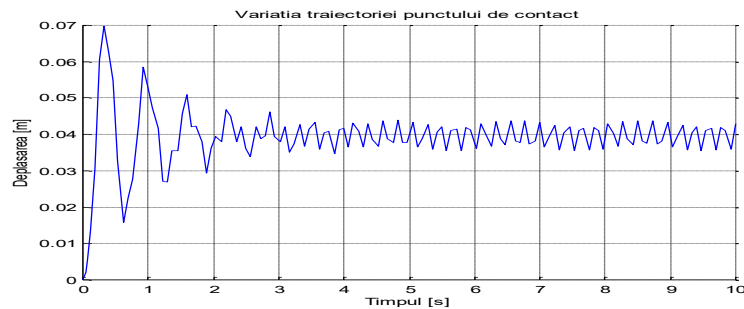


Figura 8. Traiectoria punctului de contact dintre catenară și sistemul de captare.

Sistemul de captare pantograf – catenară trebuie astfel proiectat încât să evite întreruperea curentului electric, o uzură cât mai mică a firului de contact și a patinei de captare și de asemenea să evite înălțarea excesivă a firului de contact care ar duce la mari probleme mecanice la brațele de de fixare din dreptul stâlpilor.

Toate aceste probleme sunt greu de realizat concomitent în practică. Limitarea înălțării firului de contact și a uzurii mecanice cere o valoare redusă a forței de contact, dar pe de altă parte pentru a evita pierderea contactului, pentru minimizarea perturbațiilor magnetice și reducerea uzurii datorate arcului electric, se cere o creștere a forței de contact.

Componentele forței de contact dinamice care se produc după trecerea și în urma pantografului pe tot parcursul deplasării vehiculului agită sistemul linie de contact-pantograf la oscilații severe. Datorită oscilațiilor suplimentare puternice date de sarcinile variate care apar de aici se pot produce defecte datorită oboselii materialelor și mai ales a elementelor de susținere a catenarei. Compensarea acestor componente dinamice și menținerea fluctuației forței de contact cât mai reduse posibil pot să ducă la obținerea unui contact sigur și fără întreruperi, creșterea performanțelor dinamice ale sistemului pantograf – catenară fiind o cerință majoră pentru funcționarea corectă a vehiculelor și a sistemului de alimentare în tracțiunea feroviară.

5. Modelul de laborator

În laboratorul de tracțiune există un model de pantograf asimetric care poate fi acționat atât clasic, cu resort, cât și neconvențional, cu motor liniar de inducție (Figura 9).

Linia de contact este simulată printr-un disc din cupru cu grosimea de 1,5 mm și cu diametru de 260 mm fixat pe un ax. Pe disc s-au practicat diferite neregularități pentru a scoate în evidență rugozitățile care sunt pe firul de contact datorită arcurilor electrice care au loc în timpul desprinderii elementelor de contact. De asemenea, discul prezintă o decupare la centru care-i permite o deplasare în sus și în jos, realizându-se prin deplasarea discului săgeata liniei de contact.

Discul este rotit cu ajutorul unui motor monofazat a cărei viteză poate fi modificată, simulându-se astfel diverse viteze ale vehiculului. Sistemul colector perie - portperie va asigura circulația curentului electric într-un circuit serie format dintr-o sursă de tensiune, linia de contact, pantograf și un consumator. Astfel sistemul permite detectarea numărului de desprinderi ale pantografului de linia de contact în funcție de viteză.

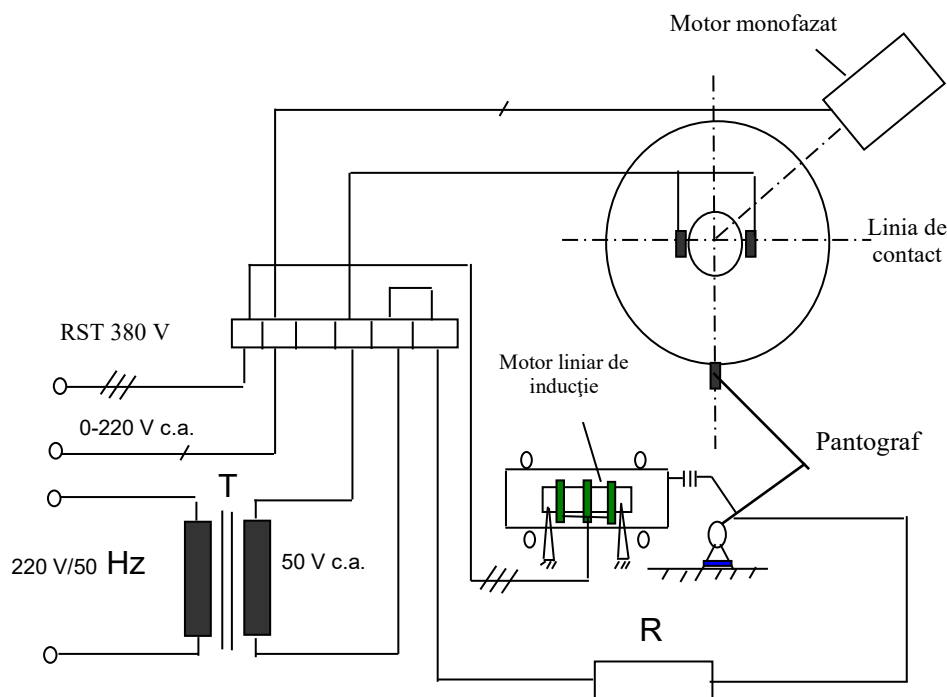


Figura 9. Schema electrică de principiu pentru captarea curentului electric.

Mersul lucrării și conținutul referatului

1. Se vor analiza cele două tipuri de pantograf, simetric și asimetric, prezentate în lucrare.
2. Se vor recunoaște elementele componente ale pantografului asimetric de pe montajul de laborator.
3. Se va alimenta motorul liniar de inducție și se va acționa pantograful la ridicare și coborâre.
4. Se vor trasa caracteristicile statice ale pantografului (la ridicare și la coborâre), măsurându-se înălțimea la care urcă sau coboară pantograful.
5. Se va determina influența vitezei vehiculului asupra numărului de desprinderi ale pantografului. Se va alimenta motorul liniar de inducție la diverse tensiuni astfel încât patina pantografului să apese cu diverse eforturi asupra discului de cupru aflat în mișcare de rotație.