

STRUCTURA MECANICĂ A VEHICULELOR DE TRACȚIUNE ELECTRICĂ. SUSPENSIA MOTOARELOR DE TRACȚIUNE

1. GENERALITĂȚI

Un vehicul reprezintă un sistem complex care, indiferent că este autonom sau neautonom, are în structură următoarele componente:

- sursa de alimentare și/sau dispozitivul de captare a energiei;
- structura mecanică a vehiculului;
- acționarea electrică și sistemul de control și reglare a vitezei;
- serviciile auxiliare.

Partea mecanică a vehiculelor de tracțiune reprezintă o structură asemănătoare la majoritatea acestora, având ca părți principale cutia vehiculului și aparatul de rulare. Pe această structură sunt amplasate celelalte componente (sistemul de captare a curentului, motoarele de tracțiune, sistemul de frânare, echipamentul auxiliar etc) în funcție de rolul lor dar și de serviciul prestat de către vehicul.

Cele mai reprezentative vehicule electrice de tracțiune cu aderență la calea ferată sunt locomotivele electrice. Celelalte vehicule electrice de tracțiune (tramvai, metrou) au, în general, o construcție și o structură mecanică asemănătoare.

Structura de rezistență este formată din șasiu și cutie. Șasiul este o structură metalică ce preia sarcinile transmise de călători, mărfuri și echipamente și care este susținută de boghiuri și osii prin intermediul unor suspensii. De șasiu se fixează aparatele de legare și ciocnire. Cutia este o structură metalică în care sunt amenajate spațiile necesare transportului călătorilor sau mărfurilor și care se sprijină pe șasiu. În cazul vehiculelor motoare, în cutie sunt amenajate spațiile pentru instalațiile de forță și auxiliare și pentru personalul de conducere. După numărul cabinelor de conducere cutia poate fi monocabină sau bicabină.

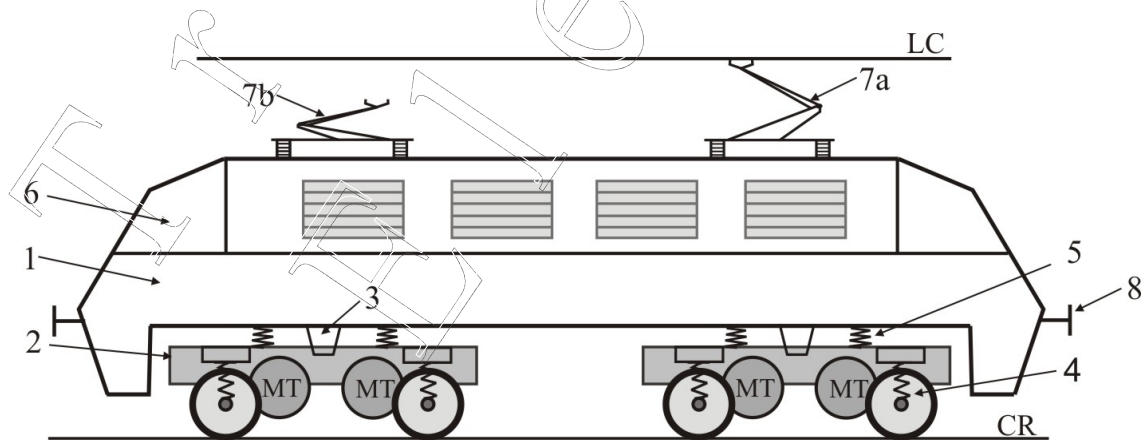


Fig. 1 - Locomotivă electrică bicabină tip B₀B₀.

LC – Linia de contact, CR – Cale de rulare, MT – Motoare de tracțiune, 1 – Cutia vehiculului, 2 – Boghiu, 3 – Pivot, 4 – Suspensie primară, 5 – Suspensie secundară, 6 – Cabină,

7a, 7b – Captator de curent ridicat/coborât, 8 – Aparate de legare și ciocnire

Cutia bicabină este soluția cea mai răspândită pentru locomotive, care au două posturi simetrice de conducere; soluția are avantajul vizibilității maxime, dar are și inconveniente legate de dublarea echipamentului de comandă iar costul este mai ridicat.

Sistemul poate fi cu cutie portantă, când întreg ansamblul (șasiu, pereți laterali, acoperiș) participă la asigurarea rezistenței mecanice, sau cu cutie cu șasiu portant, caz în care șasiul este elementul principal de rezistență. A doua soluție are avantaje legate de acces mai ușor la echipament și de posibilitatea de montare și demontare mai ușoară a componentelor.

În figura 2 se prezintă structura cutiei și șasiului cu evidențierea elementelor de rezistență mecanică.

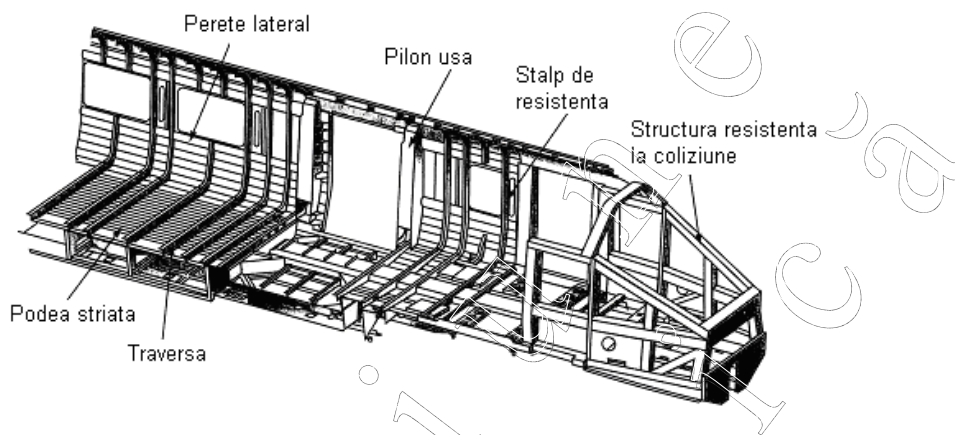


Fig. 2 - Structură de rezistență a unui vehicul modern.

2. BOGHIUL

Boghiul este un dispozitiv sub formă de cărucior, cu una sau mai multe osii (în general maximum 4 și care pot fi toate sau doar o parte din ele osii motoare), pe care se sprijină șasiul vehiculului. El este format dintr-un cadru metalic, cu sau fără traverse de consolidare. Pe mijlocul cadrului, pe o traversă fixă sau mobilă (traversa dansantă) se află un lagăr în care, prin intermediul unui pivot, se articulează șasiul vehiculului și care permite o oscilație în jurul axei verticale (oferind libertate de rotire în plan orizontal față de cutie) precum și preluarea forțelor orizontale. În componența boghiului intră trenul de roți și cutiile de unsoare, cadrul metalic, suspensiile, dispozitivele de frânare (cilindrii de frână, saboți sau discuri de frână). Pe boghiurile motoare se regăsesc motoarele electrice de tracțiune și dispozitivele de transmitere a cuplului motor la roți.

Trenul de roți este format din osie și cele două roți atunci când roțile sunt cuplate prin osie (cazul cel mai des), dar roțile pot fi și independente, fără legătură mecanică directă între ele; trenul de roți este elementul care suportă în mod direct toate sarcinile statice și dinamice. Boghiul se sprijină pe osii prin intermediul suspensiilor elastice primare (arcuri lamelare, arcuri elicoidale simple sau duble și eventual în combinații cu blocuri de cauciuc).

Din punct de vedere al numărului de osii, boghiurile pot fi cu una, două sau mai multe osii, cel mai întâlnit fiind modelul cu două osii. Față de sistemul cu o osie, boghiul cu două osii este mai complex dar are avantajul reducerii efectelor neregularităților căii de rulare asupra cutiei vehiculului. Boghiul cu 3 osii este mult mai complex și nu se justifică pentru vehicule de transport urban, pentru vagoanele de călători și nici pentru majoritatea vagoanelor de marfă. Utilizarea lor se regăsește însă pe locomotivele electrice și diesel-electrice de mare putere unde fiecare osie este acționată de către un motor de tracțiune.

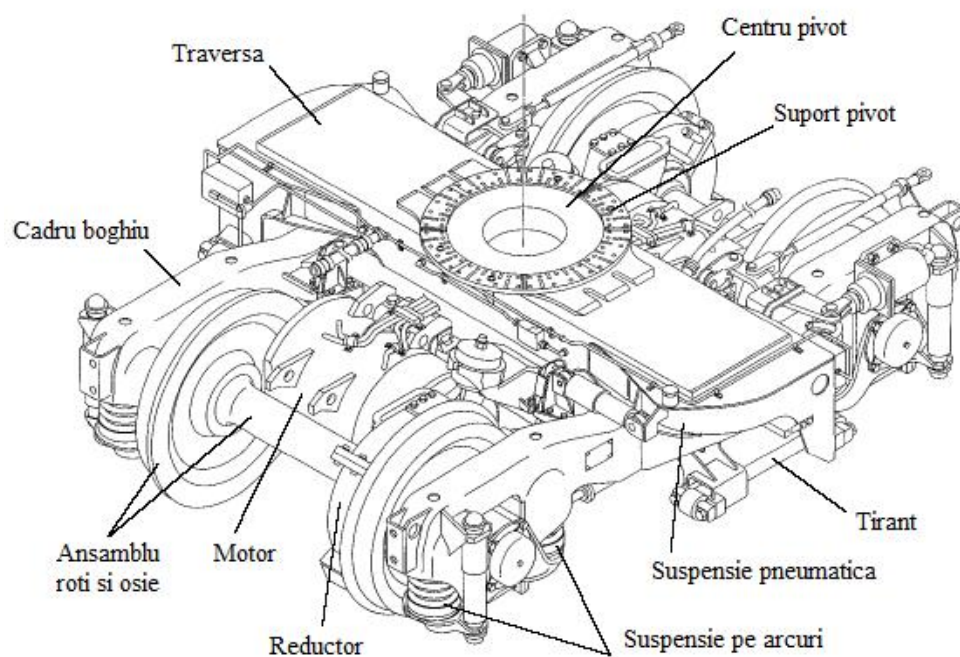


Fig. 3 - Boghiu cu două osii.

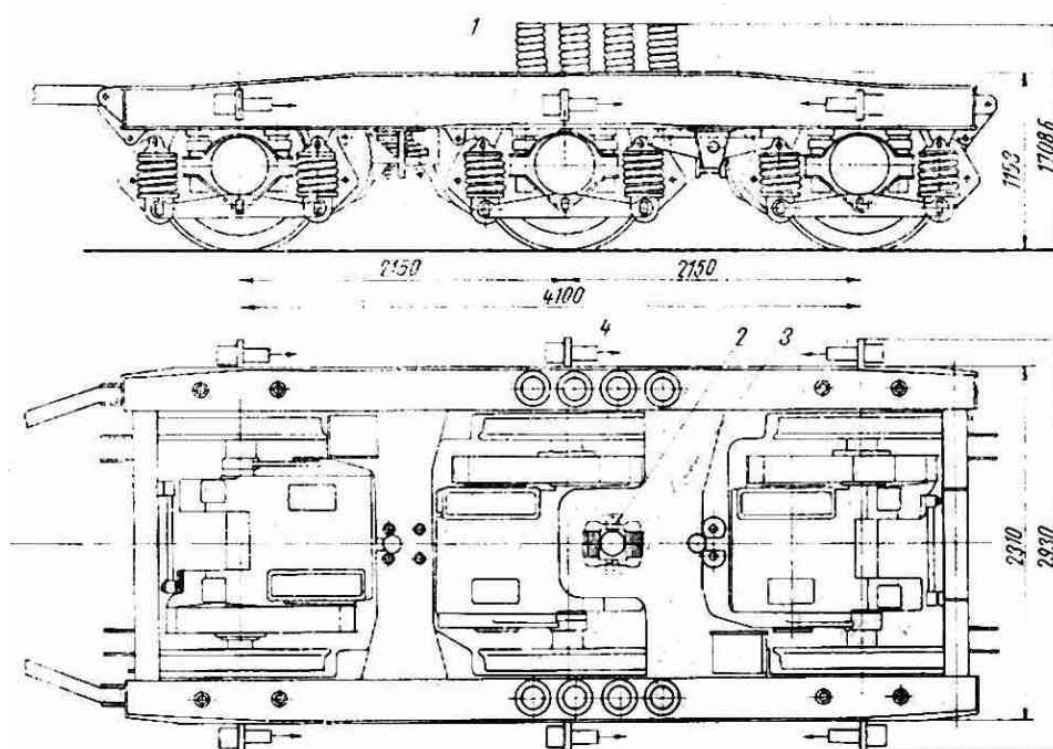


Fig. 4 - Boghiu de locomotivă diesel electrică LDE 060.

Datele tehnice principale pentru un boghiu sunt:

- ecartamentul,
- ampatamentul,
- diametrul roților,
- viteza maximă,
- masa,
- sarcina maximă pe osie,
- puterea motoarelor de acționare (pentru boghiurile motoare),
- numărul discurilor de frânare.

La vehiculele pe boghiuri se definesc în plus, conform Figura 5 și Figura 6, următoarele:

- **ampatamentul** boghiului, notat a , ca fiind distanța dintre axele osiilor extreme ale unui boghiu;
- **ecartamentul**, notat e , ca fiind distanța dintre fețele interioare ale roților.
- ampatamentul cutiei (Figura 6), notat A , ca fiind distanța dintre axele pivoților de sprijin ai cutiei pe boghiuri.

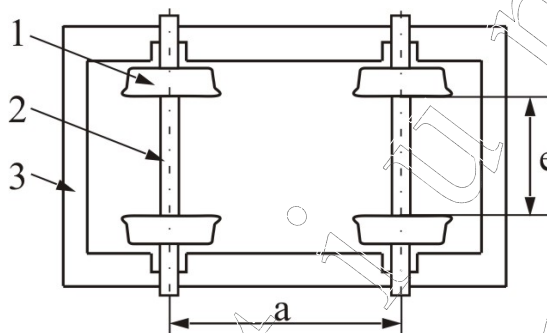


Fig. 5 - Ampatamentul și ecartamentul unui boghiu.

1 – roți; 2 – osie; 3 – cadru boghiu.

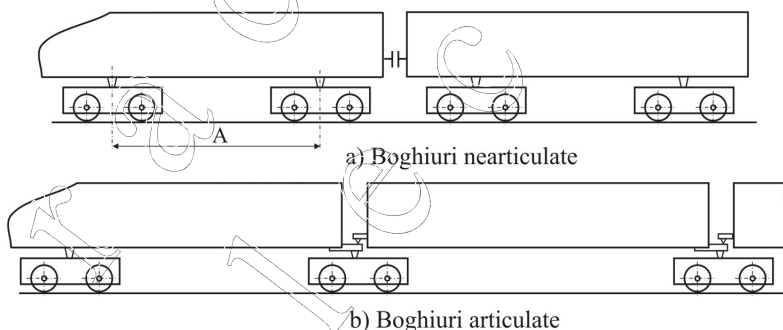


Fig. 6 - Boghiuri articulate și nearticulate.

Boghiul nearticulat suportă doar greutatea unei singure cutii de vagon (vagonul fiind independent), în timp ce boghiul articulat preia greutatea a două cutii de vagon alăturate (caz întâlnit la ramele electrice moderne de tip TGV). Boghiul articulat este mai complex iar mentenanța sa este mai dificilă, însă are avantaje date de reducerea înălțimii centrului de greutate, oferă un confort sporit la rulare deoarece capătul vagonului nu iese în afara boghiului și zgomot mai redus în vagon, scaunele pasagerilor nefiind deasupra boghiului. În plus se reduc masele aflate în mișcare de rotație și deci vibrațiile și scad și rezistențele opuse mersului.

Suspensia asigură legătura elastică între șasiu sau rama boghiului și osii, având rolul de a absorbi energia de șoc și de a amortiza oscilațiile. Suspensia se realizează cu arcuri metalice, arcuri de cauciuc, amortizoare pneumatice sau hidraulice, cu bare de torsiune și cu elemente pendulare. Practic, majoritatea pieselor de pe boghiu trebuie să fie suspendate elastic astfel încât deplasarea să se facă cu cât mai puține șocuri și vibrații și cu cât mai puțin zgomot.

În Figura 7.a se prezintă o suspensie primară 1 cu arcuri metalice elicoidale, pe care se sprijină rama 3 a boghiului. În figură se reprezintă și suspensia secundară 4 realizată din metalastic, care susține cutia vehiculului, precum și un amortizor 5 care poate fi hidraulic sau pneumatic. În figura 7.b se prezintă boghiul articulat pentru trenul TGV; se observă suspensia primară și suspensia secundară precum și faptul că boghiul susține cutiile a două vagoane alăturate.

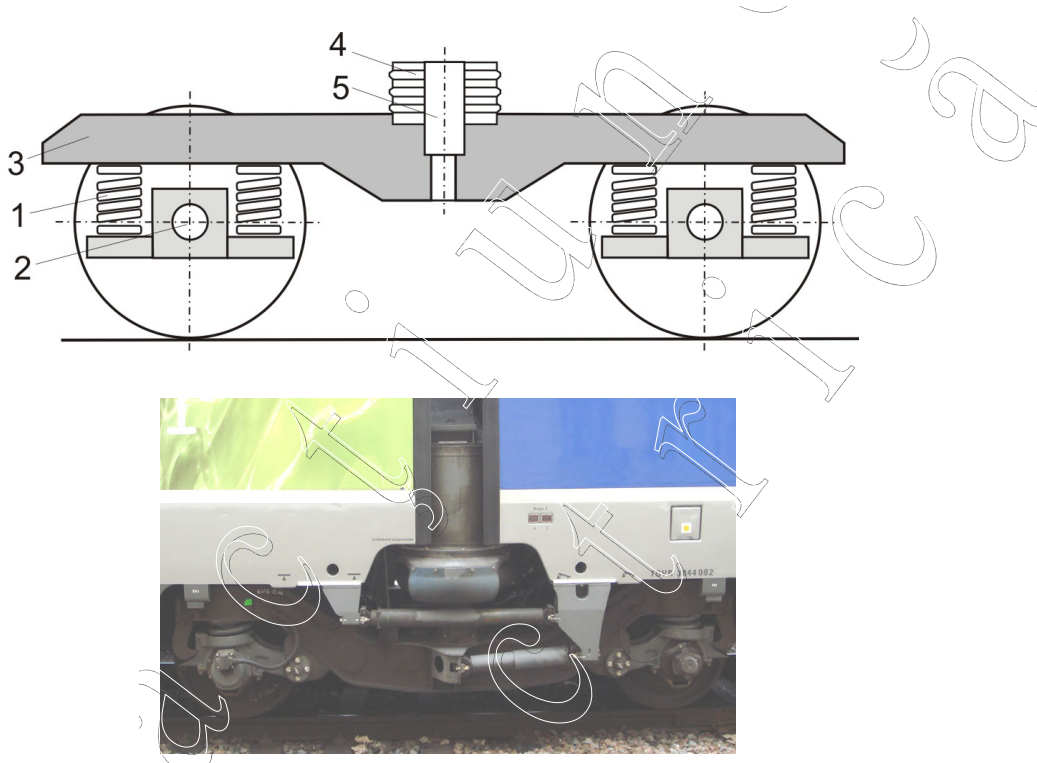


Fig. 7.a. - Suspensia primară pe arcuri pentru un boghiu cu două osii.

Fig. 7.b. - Boghiu articulat și suspensiile pentru trenul TGV.

Suspensia de cauciuc este realizată sub formă de pachete de cauciuc și pot înlocui arcurile de oțel din suspensia primară (fig. 10) sau secundară. Axul osiei 1 este realizat astfel încât să permită dispunerea pachetului de cauciuc 2 sub un anumit unghi, care permite transmiterea forțelor la cadrul boghiului 3.

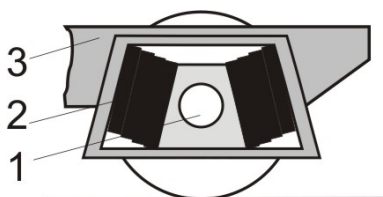


Fig. 8 - Suspensie pe cauciuc.

Organele de rulare cuprind osiile și roțile și au rolul de a transmite sarcinile între vehicul și calea de rulare și de a asigura deplasarea și ghidarea acestuia. Ea este compusă dintr-o pereche de roți metalice calate prin presare la rece pe o osie metalică, osie prelucrată prin strunjire și realizată din oțel laminat. Acestea, uneori cu o parte a motorului de tracțiune și a dispozitivelor de transmitere a cuplului motor, reprezintă masa nesuspendată a vehiculului. Dacă osia este motoare, pe corpul ei se calează roata dințată de antrenare a osiei, iar dacă osia este liberă, pe corpul ei se pot cala unul până la patru discuri de frânare. De notat că unele vehicule moderne au roți independente, osiile fiind eliminate.

Aparatele de ciocnire, tracțiune și legare au rolul de a lega vehiculele și de a le menține la o anumită distanță între ele, de a transmite eforturile de tracțiune și de compresie de la un vehicul la altul și de a atenua acțiunea acestor eforturi. Ele sunt formate din tamponare (ca aparate de ciocnire), cuple (ca aparate de legare) și cârligul de tracțiune. Aceste dispozitive pot forma un singur aparat, iar când acesta face cuplarea automată a vehiculelor se numește cuplă automată.

În domeniul transportului urban și suburban, o tendință modernă este de a se realiza vehicule cu podea joasă (*low-floor*). Problemele cele mai mari le ridică însă boghiurile motoare, deoarece chiar și motoarele moderne au dimensiuni relativ mari și ocupă mult spațiu sub șasiu. Primele astfel de vehicule aveau motoare doar pe boghiurile de pe capetele vehiculului, boghiul central fiind fără osii, cu roți independente. Sistemul are totuși dezavantajul existenței unor trepte în vehicul, dar datorită motoarelor de dimensiuni reduse, podeaua nu depășește 600 mm, ceea ce necesită doar o treaptă de urcat sau coborât în vehicul.

Prin dezvoltarea de roți motoare acționate independent, s-a ajuns la vehicule care au 100% podea joasă, podeaua având înălțimea medie de 360mm (Figura 9 boghiu de tramvai *Green Mover Max* realizat de *Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. (MHI)*).

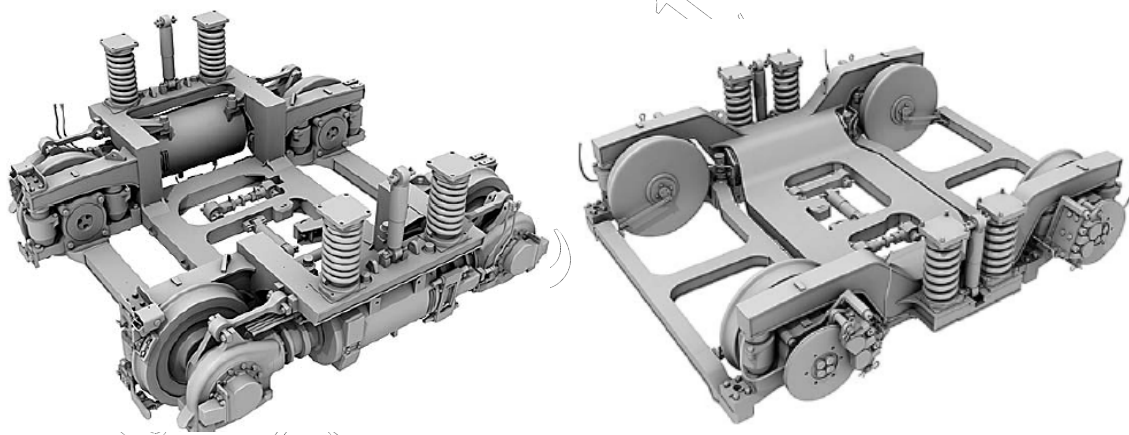


Fig. 9 - Boghiu motor și boghiu purtător pentru tramvai cu podea joasă 100%.

Avansul electronicii de putere a permis reducerea dimensiunilor unor dispozitive, utilizarea invertoarelor permițând folosirea de motoare mai mici și mai ușoare. Rezistențele de frânare, bateriile și diverse echipamente auxiliare au fost amplasate pe acoperiș. În plus, utilizarea comenzilor electrice a permis eliminarea unor sisteme hidraulice sau pneumatice. Lipsa osiilor nu mai permite amplasarea de discuri de frână pe acestea, ele fiind amplasate pe axul exterior al roților.

3. SUSPENSIA MOTOARELOR ELECTRICE DE TRACȚIUNE

În funcție de modul de așezare a motoarelor de tracțiune în raport cu partea nesuspendată sunt posibile următoarele tipuri de suspensii la acționarea individuală a osiilor:

- cu motor nesuspendat (când motorul de tracțiune se sprijină cu toată greutatea sa pe osia vehiculului);
- cu motor semisuspendat (când numai o parte din greutatea motorului este suspendată pe osia motoare, iar restul greutății este suportat de cadrul boghiului);
- cu motor complet suspendat (când motorul de tracțiune se sprijină integral pe partea suspendată – cadrul boghiului sau șasiul cutiei vehiculului).

Cu rare excepții, aproape toate vehiculele electrice motoare din ultimele generații sunt construite pe boghiuri (cu motoare complet suspendate).

3.1. MOTORUL DE TRACȚIUNE COMPLET SUSPENDAT CU ACȚIONAREA OSIEI PRIN ANGRENAJ

Suspendarea completă a motorului de tracțiune față de osia motoare obligă la introducerea unei transmisii elastice, care să permită atât transmiterea cuplului motor, cât și efectuarea deplasărilor relative dintre axa motorului și axa osiei motoare, axe ce nu rămân paralele în timpul funcționării. Legătura elastică se poate introduce fie între coroana dințată și roata motoare – cea mai întâlnită soluție –, fie între coroana și inima roții dințate, ultima fiind calată pe osie.

În Figura 10 este prezentată soluția motorului complet suspendat cu acționarea osiei prin angrenaje. La ambele capete ale axului motorului M se găsesc pinioanele r_p , care angrenează cu coroanele dințate R_d montate pe axul tubular A . Motorul de tracțiune M este prins rigid de cadrul locomotivei C . Transmiterea cuplului motor se face cu ajutorul brațelor cu legături elastice E .

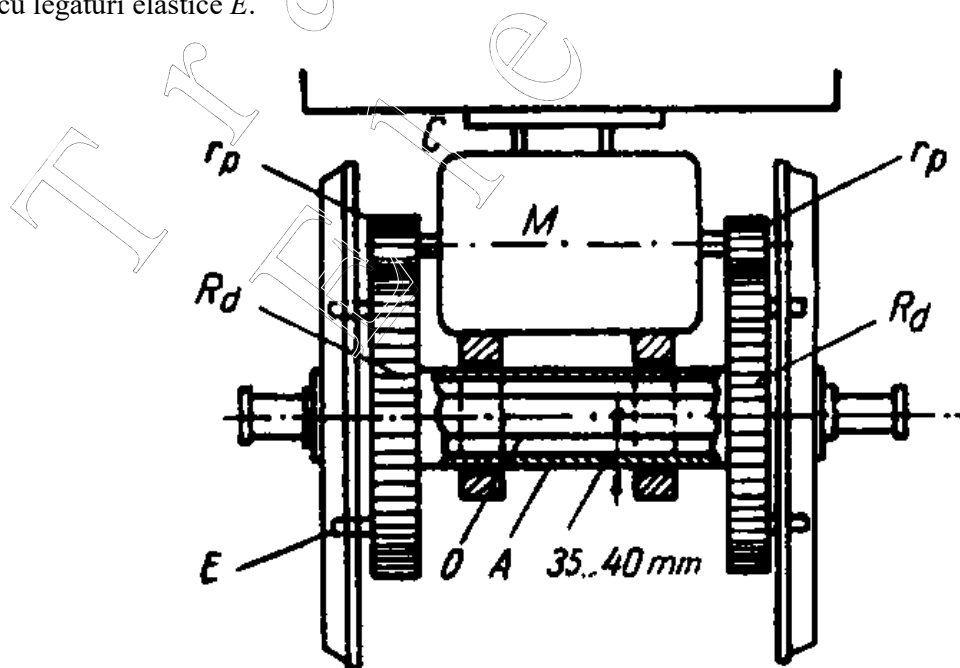


Fig. 10 - Motorul complet suspendat cu acționarea prin reductor.

M – motor; O – osie; A – arbore tubular; r_p și R_d – angrenaj reductor; E – brațul legăturii elastice; C – cadrul vehiculului.

3.2. TRANSMISIA CU ARBORE CARDANIC

În Figura 11 *a* și *b* sunt prezentate două soluții de transmisie cu arbore cardanic, motorul de tracțiune fiind dispus longitudinal *a* sau transversal *b*. O transmisie cu arbore cardanic se compune din două articulații cardanice și un ax, care pentru a lucra în condiții favorabile trebuie să aibă o lungime suficientă față de amplitudinea oscilațiilor. Prima soluție se întâlnește la unități motoare de putere mică sau medie – tramvaie, troleibuze, automotoare, electrocare. Folosirea acestei soluții la locomotive ar mări ampatamentul boghiului, împiedicând înscrierea în curbe de rază mică; în plus, ar cere utilizarea unui angrenaj, conic, mai complicat și mai delicat decât angrenajele cilindrice (Figura 11*b*).

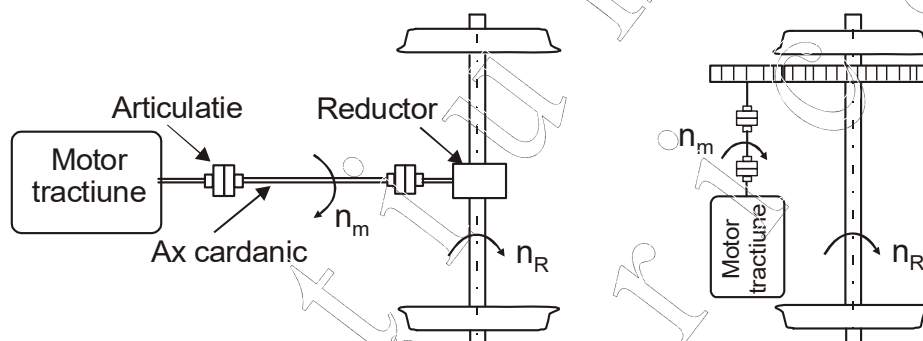


Fig. 11. Transmisia cu arbore cardanic.

a – dispoziție longitudinală; *b* – dispoziție transversală.

3.3. MOTOR SEMISUSPENDAT CU ACȚIONAREA OSIEI PRIN ANGRENAJ

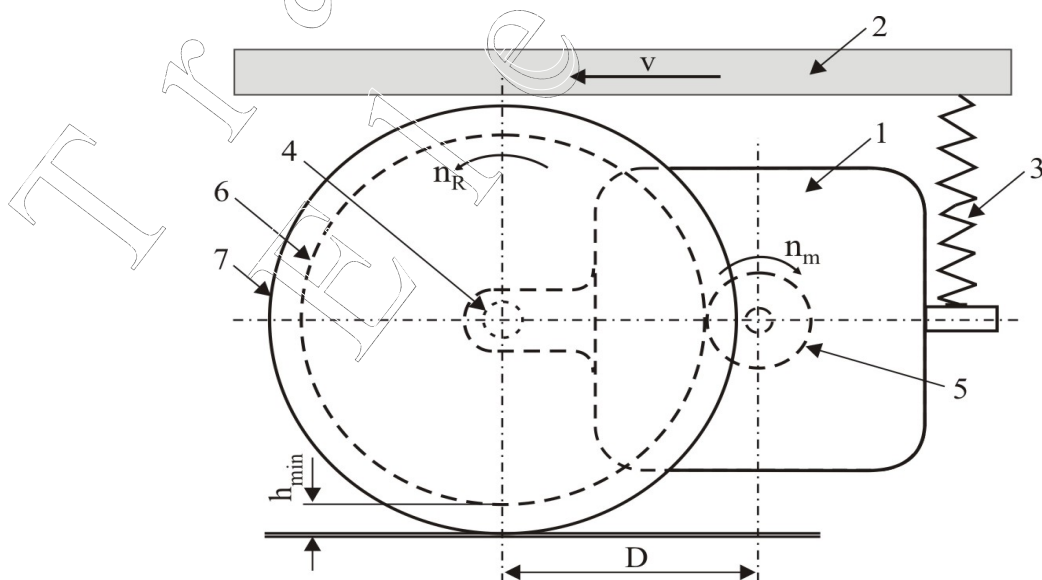


Fig. 12 - Motor de tracțiune semisuspendat sau suspensia tip tramvai.

1 – motor; 2 – cadrul; 3 – arc; 4 – osie; 5 – pinionul motorului; 6 – coroana dințată; 7 – roata de rulare.

Acest tip de suspensie este cunoscută și sub denumirea de *suspensie tip tramvai* sau *suspensie pe nas*. Motorul de tracțiune 1 (Figura 12) se sprijină de o parte pe osie, prin intermediul a două lagăre de fricțiune, iar de cealaltă parte de cadrul 2 al vehiculului prin intermediul unei legături elastice (arcului 3).

Axul motorului nu mai coincide cu axul osiei, transmiterea cuplului motor fiind făcută cu ajutorul pinionului 5 (fixat pe rotor) care angrenează cu coroana dințată 6 calată pe osia motoare 4.

Printr-o alegere corectă a raportului de transmisie, se poate folosi economic motorul de turație mare, caracterizat printr-un gabarit mic la putere mare. Transmiterea cuplului motor se poate face bilateral, prin pinioane dispuse la ambele extremități ale axului motor, care aduc avantajul unei solicitări uniforme a celor două paliere de sprijin și limitează oboseala angrenajelor, dar micșorează gabaritul disponibil. Transmisia printr-un singur pinion – transmisia unilaterală – are avantajul unui spațiu mai mare între roți (deci se poate folosi un motor mai mare) dar are dezavantajul solicitării neuniforme a osiei.

4. NOTAREA SIMBOLICĂ A VEHICULELOR ELECTRICE DE TRACȚIUNE

În practica internațională se obișnuiește ca un tip de locomotivă să fie notat convențional printr-un simbol, care definește modul de construcție al părții mecanice, și anume: formula osiilor, modul de acționare al osiilor și soluția adoptată pentru realizarea părții mecanice (cu boghiuri sau cu șasiu unic rigid). Sistemul de notare cel mai folosit cuprinde litere majuscule ale alfabetului latin și cifre arabe.

- osiile motoare aparțin aceluiași boghiu, respectiv șasiul unic rigid, și se notează cu litere majuscule; poziția literei în alfabet indică numărul osiilor motoare (B – două osii motoare, C – trei osii motoare, D – patru osii motoare);
- osiile purtătoare și alergătoare se notează cu cifre (1 – o osie purtătoare, 2 – două osii purtătoare);
- dacă osiile motoare sunt cu acționare individuală, litera majusculă care le desemnează se prevede cu indicele zero (B_0 – două osii motoare, fiecare osie cu acționare individuală; D_0 – patru osii motoare, fiecare cu acționare individuală); osiile motoare cuplate se notează numai cu literă majusculă fără indice zero;
- precizarea că osiile motoare aparțin aceluiași boghiu se face marcând litera majusculă cu apostrof; această indicație suplimentară arată și numărul boghiurilor vehiculului (B_0 – boghiu cu două osii motoare acționate individual; B'_0 – vehicul cu două boghiuri, fiecare boghiu cu două osii motoare de acționare individuală; C_0 – boghiu cu trei osii motoare, acționate individual);
- o locomotivă compusă din două unități cuplate se notează folosind semnul plus, așezat între notația simbolică a celor două unități ($B_0 - B_0 + B_0 - B_0$, corespunde unei locomotive compuse din două unități identice $B_0 - B_0$).
- numărul osiilor poate fi dat prin 3 cifre care reprezintă: pentru prima și a treia cifră numărul de osii alergătoare (fără acționare) iar cifra a doua arată numărul de osii motoare de pe vehicul.

Ținând seama de tendința actuală în construcția locomotivelor diesel și electrice, adică de generalizarea locomotivelor cu boghiuri a două osii sau cu boghiuri a trei osii și cu acționare individuală a osiilor, în notarea simbolică se tinde spre o simplificare, în sensul că nu se mai indică în mod special acționarea individuală prin indicele zero (aceasta se presupune că se subînțelege).

Pentru locomotive diesel și electrice cu boghiuri monomotoare cu două sau trei osii (fiecare boghiu are un motor de tracțiune, iar antrenarea osiilor se face în grup prin angrenaj) se notează B – B monomotor, C – C monomotor, sau B – B – B monomotor.

Exemple de notare:

- LDE – 060 – DA = locomotivă diesel – electrică cu zero osii alergătoare, 6 osii motoare cu acționare individuală și zero osii purtătoare. DA reprezintă motor diesel cu supraalimentare.
- LE – 060 - A = locomotivă electrică cu zero osii alergătoare, 6 osii motoare cu acționare individuală și zero osii purtătoare. „A” reprezintă primul lot de fabricație.

Mersul lucrării

1. Se vor studia diverse structuri mecanice ale vehiculelor de tracțiune electrică.
2. Se vor studia și realiza schema cinematica de principiu a transmisiei cuplului motor pentru tramvaiul Tatra, pentru modelul de locomotivă LE060/LE040 și pentru modelul de boghiu cu roți independente din dotarea laboratorului.
3. Se vor studia modurile de suspendare a motoarelor electrice de tracțiune și se vor evidenția diferențele dintre acestea.
4. Se vor prezenta concluziile studiului.