

Gabriel Cătălin MARINESCU

Gabriel Cătălin MARINESCU

Contribuții la analiza mecanismelor de direcție.
Considerații privind deformabilitatea elementelor



Editura UNIVERSITARIA
Craiova, 2023

Referenți științifici:

Conf.univ.dr.ing. Oana Victoria STĂNCIUC-OTĂȚ

Conf.univ.dr.ing. Dragoș TUTUNEA

Copyright © 2023 Editura Universitaria

Toate drepturile sunt rezervate Editurii Universitaria

ISBN 978-606-14-1991-3

© 2023 by Editura Universitaria

Această carte este protejată prin copyright. Reproducerea integrală sau parțială, multiplicarea prin orice mijloace și sub orice formă, cum ar fi xeroxarea, scanarea, transpunerea în format electronic sau audio, punerea la dispoziția publică, inclusiv prin internet sau prin rețelele de calculatoare, stocarea permanentă sau temporară pe dispozitive sau sisteme cu posibilitatea recuperării informațiilor, cu scop comercial sau gratuit, precum și alte fapte similare săvârșite fără permisiunea scrisă a deținătorului copyrightului reprezintă o încălcare a legislației cu privire la protecția proprietății intelectuale și se pedepsesc penal și/sau civil în conformitate cu legile în vigoare.

1

Aspecte generale privind sistemele de direcție din componența automobilelor

1.1 Introducere

Sistemele de direcție au avut în permanență un rol deosebit de important în funcționarea unui vehicul, indiferent de destinația sau de caracteristicile acestuia. Prin intermediul său, opțiunea conducătorului s-a regăsit în orientarea deplasării vehiculului pe traiectoria dorită.

Din punct de vedere tehnic, sistemul de direcție a fost intens studiat și perfecționat pe o gamă largă de vehicule existente, fie aflate în producție de serie, fie având destinații speciale. În funcție de condițiile utilizării și de caracteristicile vehiculelor, au fost dezvoltate numeroase soluții tehnice, răspunzând exigențelor de siguranță, fiabilitate sau adaptare la condițiile de deplasare.

Până în prezent, cele mai importante cercetări din literatura de specialitate ce abordează elemente din problematica acestei lucrări, pot fi clasificate în funcție de direcția de studiu, în trei categorii generale:

- sistemul de direcție în ansamblu;
- mecanismul de direcție din componența sistemelor de direcție;
- elemente de cinematică, dinamică, optimizare și deformabilitate a sistemelor de direcție;

Sistemele de direcție sunt sisteme mecanice care intră în componența diferitelor modele de vehicule, abordarea lor în lucrările de specialitate fiind foarte variată. Se pot distinge două direcții de cercetare majore a acestora, prima fiind cercetarea sistemelor de direcție din domeniul roboților mobili, iar a doua axându-se pe studiul direcției autovehiculelor.

În urma analizei celor mai importante inovații în domeniul sistemelor și mecanismelor de direcție, se pot extrage următoarele concluzii :

- Se poate observa tendința implementării la scară largă și perfecționării sistemelor electrice și electronice, complementare sistemelor clasice de direcție. Sunt de remarcat sistemele de asistare și direcția prin fire

în cazul automobilelor și flexibilitatea sistemelor de direcție integrală cu actuatori electrici pe fiecare roată, în cazul roboților.

- În ceea ce privește partea de mecanisme, sunt studiate cu precădere mecanismele direcției integrale și caseta de direcție.
- Sunt utilizate modele cinematice și dinamice pentru simularea comportamentului atât a mecanismelor de direcție, cât și al vehiculului în general, în vederea stabilirii dependențelor dintre diferiți parametri ai vehiculului. Abordările numeroase din punct de vedere cinematic și dinamic permit simulări mai precise ale comportamentului direcției.
- Cercetarea mecanismelor de direcție și a comportamentului lor la viteze mari sunt orientate cu precădere înspre domeniul autovehiculelor. Tot aici se poate aminti faptul că sistemul de direcție este de cele mai multe ori analizat împreună cu sistemul de suspensie.
- O importanță deosebită este acordată îndeplinirii condiției de siguranță. Este oportună o abordare a siguranței din perspectiva reducerii uzurii diferitelor componente mecanice ale mecanismului, cum ar fi articulațiile.
- Se ia în calcul fiabilitatea componentelor mecanice. Având în vedere condițiile dificile de trafic și starea nu întotdeauna optimă a suprafețelor de rulare, solicitările care apar în componentele mecanismului de direcție reduc durata de viață a acestuia și siguranța pasagerilor.
- În condițiile date, este potrivit un studiu dinamic al mecanismului de direcție, mai exact este indicat studiul deformabilității componentelor mecanice și a stabilirii unei dependențe între aceasta și factorii externi care acționează asupra sistemului.

1.2 Definirea parametrilor geometrici.

Unghiurile de stabilitate ale roților

Din studiul literaturii de specialitate cu privire la cercetarea și dezvoltarea mecanismelor de direcție, a rezultat că ponderea cea mai mare o ocupă domeniul autovehiculelor. Constructiv, geometria acestor mecanisme ține cont de o serie de factori printre care se regăsesc și mărimile dinamice care acționează asupra autovehiculului. Câteva dintre aceste mărimi sunt: rezistența la înaintare, accelerarea datorată momentului motor, forța de frânare, forța centrifugă sau forța gravitațională.

În vederea asigurării echilibrului geometric al roților directoare și urmărind corectarea efectelor tuturor acestor factori au fost create unghiuri care asigură funcționarea corectă a direcției autovehiculelor. Acești parametri poartă generic denumirea de unghiuri de stabilizare a roților și se pot caracteriza după cum urmează:

Unghiul de înclinare transversală a pivotului (α_0) este unghiul format de axa pivotului roții cu axa verticală, măsurat în planul transversal al autovehiculului. A fost creat pentru a genera un moment stabilizator asupra roților braccate (figura 1.1).

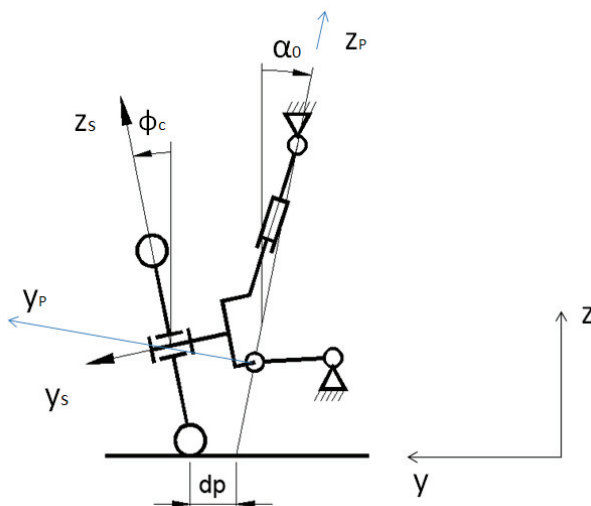


Fig. 1.1 Unghiul de înclinare transversală a pivotului α_0 și unghiul de cădere al roții ϕ_C

În momentul braccării, acest unghi determină tendința de deplasare a roților în jos, fapt reprezentat în figura 1.2 b. Întrucât roata se sprijină pe calea de rulare, apare fenomenul de ridicare a punții față și implicit a caroseriei. După braccare, sub acțiunea greutateii autovehiculului, și în condițiile înclinării pivotului cu unghiul α_0 , roțile directoare revin la poziția inițială de mers rectiliniu. Din punct de vedere al manevrabilității, stabilizarea roților directoare induce o mărire a efortului la volan prin înclinarea pivotului.

Unghiul de înclinare transversală a pivotului are valori cuprinse între 4° și 10° . Prin mărirea valorii acestuia, se micșorează valoarea deortului

d_p , reprezentând distanța în plan transversal de la intersecția axei pivotului cu solul, până la intersecția planului longitudinal de simetrie al roții cu solul. Acest fenomen conduce la reducerea efortului de manevrare a volanului, datorită reducerii momentului rezistenței la rulare.

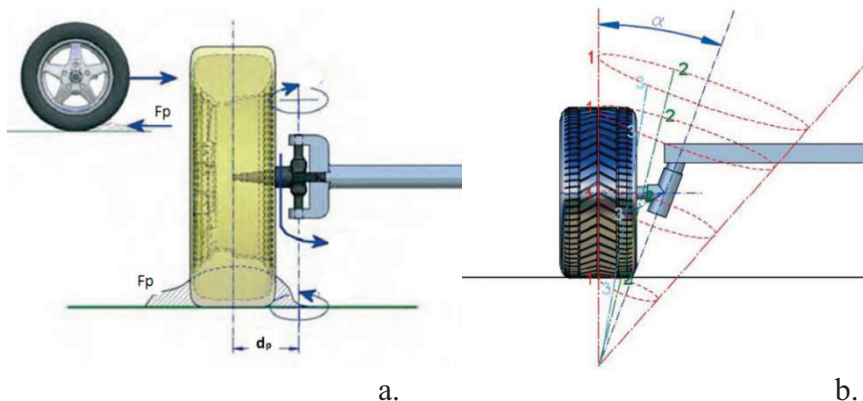


Fig.1.2 a - Momentul rezistent la bracare datorat forței rezistente și deportului d_p ;
 b - Tendința de coborâre a roții și ridicarea caroseriei, datorită unghiului de înclinare a pivotului α_0 [11]

Unghiul de cădere (φ_c) mai este numit și unghi de carosaj și reprezintă unghiul pe care îl are înclinarea roții în plan vertical. Acest unghi a fost creat inițial pentru a reduce deportul transversal, și în consecință pentru a obține un moment rezistent la bracare mai mic. Însă din cauza efectelor negative în cazul utilizării anvelopelor fără cameră, valoarea acestui unghi a fost redusă, crescând în schimb înclinarea pivotului.

În prezent, acesta are rolul de a împiedica oscilațiile roții, datorate jocului rulmenților. În urma înclinării roții cu unghiul φ_c , greutatea ce revine roții se descompune, componenta orizontală având rolul de a împinge rulmenții spre centru, eliminând jocurile. Totodată se reduc și oscilațiile fuzetei. Unghiul de cădere înlesnește manevrabilitatea autovehiculului prin reducerea deportului roții. Valorile unghiului de cădere sunt cuprinse între 0 și 1°, iar în anumite situații, se adoptă și valori negative, până la - 30'.

Valoarea acestuia se modifica în urma uzurii bușelor fuzetei și ale pivotului, ajungând la valori negative, fapt ce determină roata să ruleze divergent, conducând la o uzură accentuată a pneurilor. În cazul virării, la

roata interioară valoarea unghiului crește, iar la roata exterioară, valoarea sa scade, datorită unghiului de înclinare longitudinală a pivotului. Unghiul de cădere variază pozitiv pentru ambele roți la creșterea unghiului de înclinare transversală a pivotului.

Unghiul de fugă (ϕ_{sf}) sau unghiul de înclinare longitudinală a pivotului este unghiul format de axa pivotului cu axa verticală ce trece prin centrul roții, măsurat în plan longitudinal. Așa cum se observă și în figura 1.3, axa pivotului intersectează calea de rulare într-un punct situat înaintea punctului de intersecție a verticalei prin centrul roții.

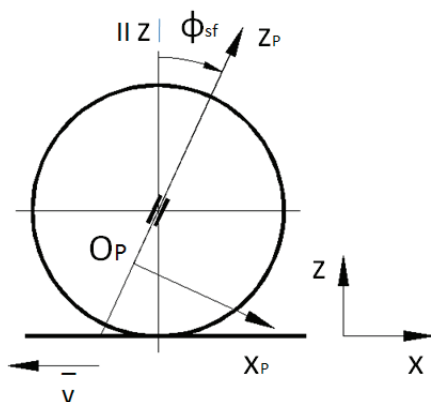


Fig.1.3 Unghiul de înclinare longitudinală a pivotului sau unghiul de fugă

Acest unghi a fost creat din două rațiuni :

- pentru a determina roțile să revină în poziția de mers în linie dreaptă, după bracare și de a menține mișcarea de mers rectiliniu a autovehiculului.
- pentru a înclina roata în timpul virării.

Așa cum se poate observa din figura 1.4, cuplul de revenire al roții este format de forța rezistentă R și de forța S care determină deplasarea înaintea a vehiculului.

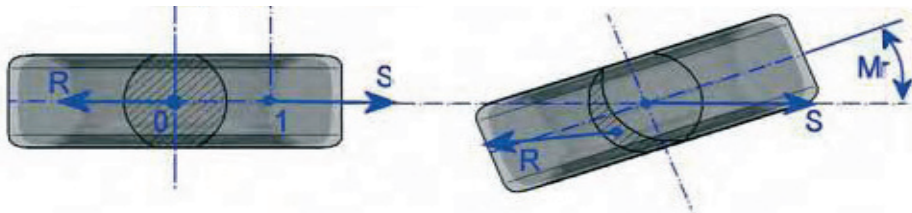


Fig. 1.4 Acțiunea momentului stabilizator datorită reacțiunilor laterale ale roții, în timpul virării [11]

Valorile unghiului de fugă sunt între 1° și $3^\circ 30'$ pentru automobilele cu suspensie independentă și între 3° și 9° pentru automobilele cu punte rigidă. Acest unghi are o valoare mai mare în cazul automobilelor cu presiune în pneuri mai ridicată. Fenomenul se explică pe baza elasticității pneurilor, care este mai redusă în cazul pneurilor cu presiune ridicată, astfel : cu cât crește elasticitatea pneurilor, cu atât reacțiunea laterală se va deplasa înapoi față de centrul suprafeței de contact, fapt ce duce la creșterea valorii momentului stabilizator. Unghiul de înclinare longitudinală al pivotului conduce la îngreunarea manevrabilității, proporțional cu elasticitatea pneului. Acest fapt conduce la reducerea unghiului în cazul în care pneurile au o rigiditate scăzută.

Un alt efect al existenței unghiului de fugă este acela de torsionare a caroseriei în timpul brăcării. Partea din față a vehiculului se ridică înspre roata interioară ceea ce produce torsionarea caroseriei.[11]

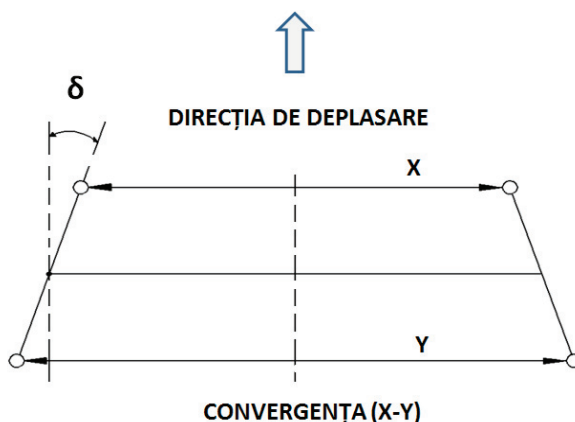


Fig. 1.5 Convergența roților

Unghiul de convergență δ este unghiul pe care îl face roata cu axa longitudinală de simetrie a autovehiculului, în plan orizontal. Obținerea valorii unghiului se face prin diferența distanțelor între jantele sau anvelopele celor două roți, măsurate în fața și în spatele roții așa cum reiese din figura 1.5. Aceste valori sunt specificate în datele tehnice furnizate de producător.

Acest unghi a fost creat pentru a contracara tendința de închidere sau deschidere a roților directoare la mersul în linie dreaptă. În cazul în care puntea motoare este puntea din față, forța dezvoltată de roți la sol determină închiderea roților directoare. Pentru a contracara, unghiul de convergență primește o valoare negativă, denumit în acest caz, unghi de divergență

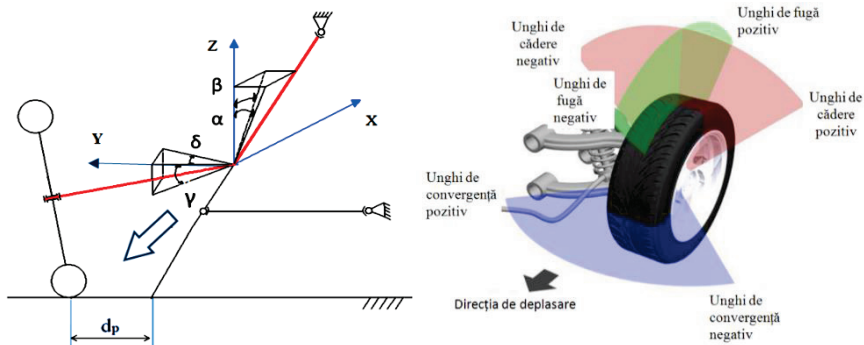


Fig. 1.6 Unghiurile de stabilitate a roții [165]

În cazul în care puntea spate este punte motoare, roțile directoare au tendința de a se deschide, ceea ce determină adoptarea unui unghi de convergență, care să asigure o rulare paralelă a roților directoare la mers rectiliniu. Valorile acestui unghi sunt cuprinse între $0^{\circ} 10'$ și $0^{\circ} 30'$ și se modifică prin reglarea lungimii barelor sau bieletelor de direcție.

În figura 1.6 se pot observa unghiurile de stabilitate ale roților directoare, exemplificate pe roata din stânga față, precum și semnul valorii acestora, în funcție de poziția roții față pe cele trei axe ale sistemului de referință global.

Pe lângă unghiurile prezentate anterior mai există și alte mărimi importante în caracterizarea fenomenului de virare la automobile, astfel :

Unghiurile de bricare și condiția de virare corectă Ackerman. Aceste mărimi au fost descrise într-un mod detaliat în lucrarea [4] și

reprezintă mărimi de importanță deosebită în analiza fenomenului de virare. Atât la deplasarea rectilinie a vehiculului cât și în timpul virării se pot distinge în plan orizontal următoarele unghiuri ale sistemului de direcție :

- φ_0 este unghiul format de levierul portfuzetei cu axa longitudinală a vehiculului la rularea în linie dreaptă, având aceeași valoare pentru ambele roți directoare.

- θ_e și θ_i sunt cele două unghiuri de bracare a roților, exterior și interior virajului, și reprezintă unghiurile formate de fuzete cu axa transversală a vehiculului, măsurate în planul orizontal.

- θ_s și θ_d reprezintă unghiurile formate de levierul portfuzetei cu axa longitudinală a vehiculului în plan orizontal, în timpul virării. Unghiurile sunt reprezentate schematic pe un sistem de direcție în figura 1.7. Între acești parametri există relațiile :

$$\theta_s = \varphi_0 - \theta_e ; \theta_d = \varphi_0 + \theta_i \quad [4] \quad (1.1)$$

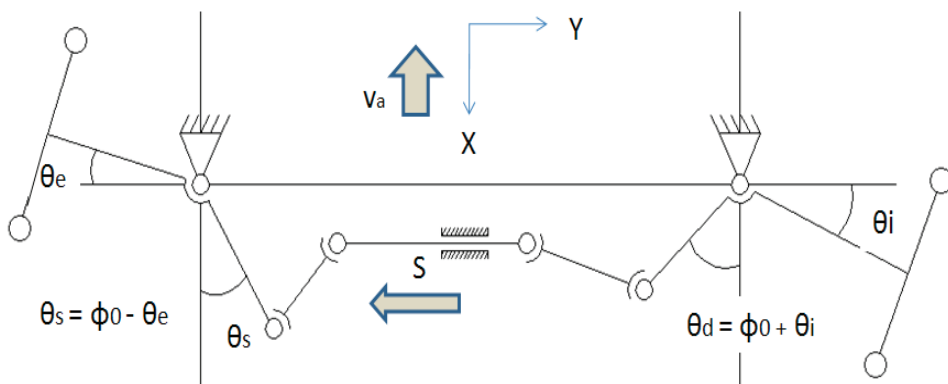


Fig. 1.7 Unghiurile de poziționare a levierelor port fuzetelor și unghiurile de bracare a roților sistemului de direcție cu angrenaj de tip pinion-cremalieră [4]

Unghiul de presiune β_{pres} este un parametru important al mecanismului de direcție, legat de fenomenul de bracare. De asemenea explicat în detaliu în lucrarea [4] acest unghi este format de direcția forței și de direcția vitezei punctului de aplicare a forței. Efectul forței aplicate scade odată cu mărirea valorii unghiului de presiune, ajungând ca la valori foarte

mari ale acestuia să se producă fenomenul de blocare a mișcării. Din acest punct de vedere, locul cel mai defavorabil pentru transmiterea forței îl reprezintă articulația dintre levierul portfuzetei și bieleta de direcție, pentru fiecare roată. Reprezentarea acestei situații se poate observa în figura 1.8.

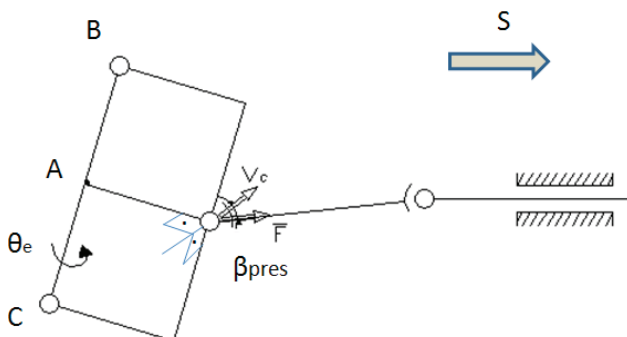


Fig.1.8 Unghiul de presiune în articulația sferică dintre bieletă și levierul portfuzetei [4]

O legătură strânsă cu unghiurile precedente o are condiția de virare corectă Ackerman (fig. 1.9). Condiția presupune că axele imaginare, normale la traiectoria roții în momentul virării să se intersecteze într-un singur punct O_v , fiind definită de relația :

$$\operatorname{ctg} \theta_e - \operatorname{ctg} \theta_{it} = \frac{B_p}{A_a} \quad (1.2)$$

unde θ_e este unghiul de bracare al roții directoare exterioară virajului, sau în cazul în care autovehiculul are mecanism de direcție integrală reprezintă unghiul făcut de perpendicularele la roțile exterioare virajului; θ_{it} este unghiul de bracare teoretic al roții interioare virajului; B_p este distanța între pivoți iar A_a este ampatamentul autovehiculului

În timpul virării, datorită elasticității pneurile se deformează sub acțiunea forțelor laterale. Unghiurile sub care se produc aceste deformații se numesc unghiuri de derivă și conduc la deplasarea poziției centrului de virare spre înainte. Aceasta face diferența între cazul teoretic prezentat în figura 1.9 și cel real.

*Contribuții la analiza mecanismelor de direcție.
 Considerații privind deformabilitatea elementelor*

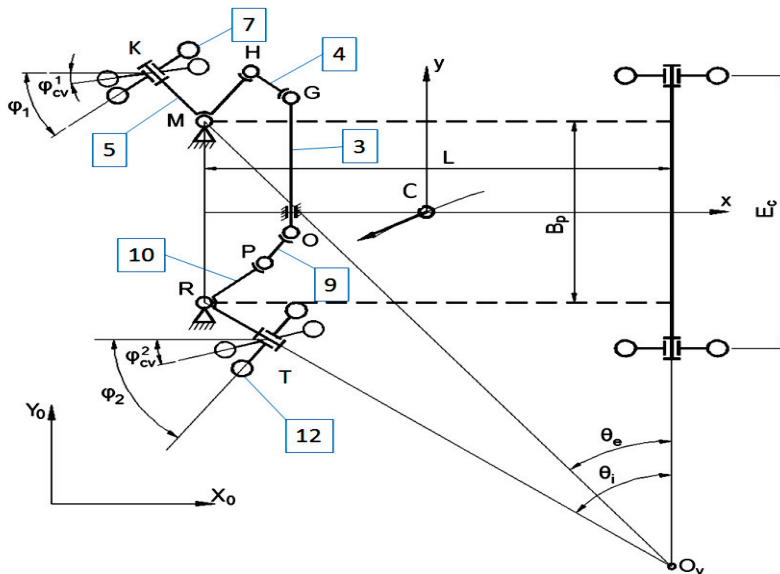


Fig.1.9 Condiția de virare corectă teoretică a unui vehicul cu puntea directoare față

1.3 Caracterizarea constructivă a mecanismelor de direcție

Caracteristicile constructive ale mecanismelor de direcție din componența autovehiculelor depind de o multitudine de factori printre care : soluția constructivă a diferitelor sisteme ce interacționează cu mecanismul de direcție, nivelul de evoluție tehnologică din momentul proiectării acestora sau cerințele și condițiile de exploatare pentru care au fost create. Considerate ca sisteme individuale, câteva dintre cele mai importante mecanisme de direcție au fost descrise în cele ce urmează, considerând drept criteriu de diferențiere structura lor cinematică.

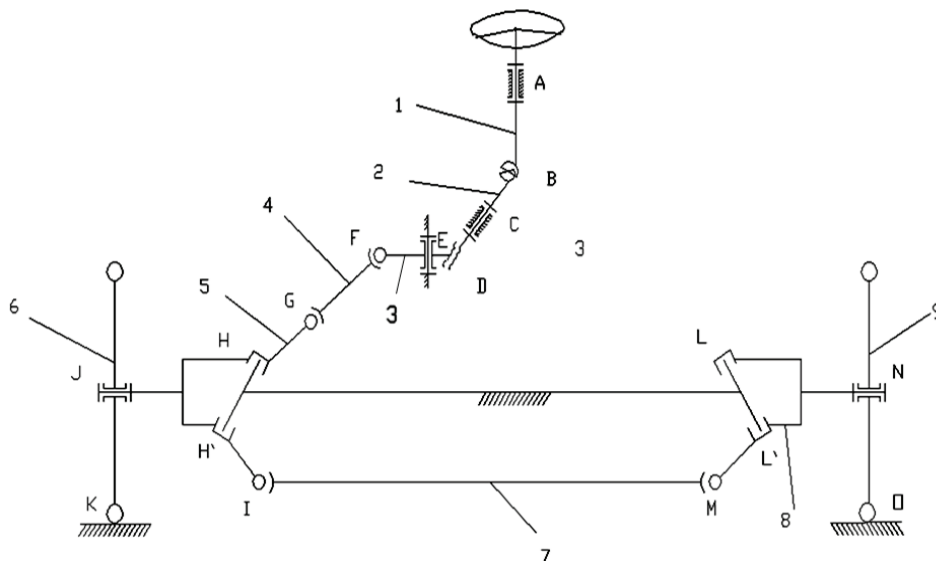


Fig.1.10 Schema cinematică a sistemului de direcție cu mecanism de tip trapez

Mecanismul de direcție de tip trapez este specific vehiculelor cu punte rigidă. În figura 1.10 este reprezentată schema cinematică a mecanismului de direcție, astfel:

elementele 1 și 2 reprezintă coloana volanului; 3- manivelă ; 4 - element intermediar de acționare a mecanismului de direcție ; 5 - fuzetă cu levier de fuzetă ; 7 - bara de direcție ; 6, 9 - roți.

Cuplele cinematice ale sistemului de direcție sunt următoarele:

A, C – cuple de rotație, rol de susținere a coloanei volanului;

B - articulație cardanică, leagă elementele coloanei volanului;

D - angrenaj caseta de direcție, depinde de soluția constructivă;

E – cuplă de rotație, definește mișcarea manivelei față de elementul fix al caroseriei;

F, G, I, M - cuple sferice;

H, H', L, L' - cuple de rotație, formează axele pivoților;

J, N - cuple de rotație poziționate la contactul dintre fuzetă și roată;

K, O - contactul cu solul.

Mecanismul de direcție cu levier central este specific vehiculelor echipate cu sistem de suspensie independentă. În figura 1.11 se poate

observa structura cinematică a acestuia. Particularitatea principală este dată de posibilitatea articulării punții, care se reflectă și în soluția constructivă a mecanismului de direcție.

Elementele cinematice componente sunt : 1,2 - coloana volanului ; 3-levierul casetei de direcție ; 4 - element intermediar ; 5- levier central ; 6, 9 - bielele de direcție ; 7,10 - portfuzete, 8,11 - roți.

Cuple cinematice:

A, C - cuple de rotație, au rol de susținere a coloanei de direcție;

B - articulație cardanică;

D - angrenaj casetă de direcție, depinde de soluția constructivă;

E, F, G - cuple de rotație;

L, L',Q, Q' - cuple de rotație, formează axele pivoților;

I, J, H, O - cuple sferice situate la capătul bielelelor de direcție;

M, R - cuple de rotație la contactul dintre fuzetă și roată;

S, N - contactul cu solul.

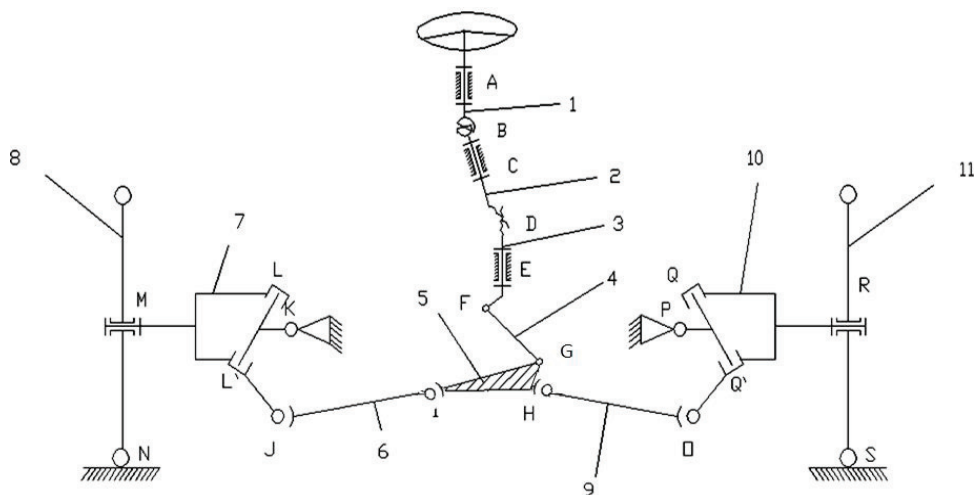


Fig.1.11 Schema cinematică a mecanismului de direcție cu levier central

Mișcarea de rotație a volanului este preluată de coloana de direcție și transmisă către caseta de direcție. Prin intermediul angrenajului acesteia este rotit levierul central 5. Sunt acționate astfel cele două bielele de direcție 6 și 9, prevăzute în capete cu articulații sferice, ce asigură compatibilitatea cu un mecanism de suspensie independentă pentru fiecare roată. Bielele transmit mișcarea către portfuzete, virând cele două roți directoare.