

REZUMAT

Lucrarea "*Contribuții la analiza cu elemente finite a lanțurilor cinematice deformabile cu aplicații la automobile*" are ca principal scop promovarea și dezvoltarea unor metode și proceduri pentru modelarea cu elemente finite a sistemelor mecanice mobile, cu aplicații la automobile.

Lucrarea își propune următoarele obiective:

- Analiza și sinteza unor realizări teoretice și practice pe probleme de cinematica și dinamica sistemelor mecanice mobile cu elemente deformabile.
- Dezvoltarea unor metode de analiză cinematică a sistemelor mecanice mobile cu elemente rigide, validate prin aplicații, cu o structură ușor de programat în scopul creșterii flexibilității pentru garantarea transferului rezultatelor către un program de analiză dinamică.
- Dezvoltarea unor metode de analiză dinamică directă și inversă pe sisteme mecanice cu elemente rigide, ușor programabile, în scopul generării bazei de date pentru modelarea ulterioară cu elemente finite.
- Proiectarea de interfețe pentru transferul rezultatelor cinematice și dinamice la programele de modelare cu elemente finite.
- Promovarea și dezvoltarea unor metode computaționale de analiză cu elemente finite a sistemelor mecanice mobile, bazate în principal pe cuplarea mișcării de solid rigid cu cea de solid deformabil.
- Dezvoltarea și testarea unor modele de analiză cu elemente finite pe sisteme mecanice, cu aplicații la automobile.
- Interfața cu soft-urile importante, consacrate, de analiză cu elemente finite (ADAMS, COSMOS, NASTRAN, etc) pentru analiza cinematică și dinamică a unor sisteme mecanice din structura automobilelor, considerate ca sisteme de corpuri deformabile.
- Susținerea modelelor cinematice, dar mai ales dinamice, prin cercetări experimentale, orientate pe identificarea răspunsului dinamic în timp sau frecvență, al sistemelor mecanice analizate.

In capitolul 1 se prezintă stadiul la zi privind modelarea cu elemente finite a lanțurilor cinematice cu elemente deformabile. Se prezintă realizări importante, unele mai vechi, altele mai recente, privind utilizarea metodei elementului finit în rezolvarea problemelor de cinematică și dinamică. Metodele dezvoltate în ultimii ani se bazează pe discretizarea elementelor cinematice, cu elemente de tip bară.

Tema acestei lucrări de bazează pe faptul că funcționarea mecanismelor de mare viteză introduce vibrații, radiații acustice, uzura articulațiilor sau o poziționare inexactă, datorită deformării legăturilor elastice. Din acest motiv se impune o analiză elastodinamică, a acestei clase de probleme, mai mult decât analiza dinamică a sistemelor cu elemente rigide. Prin analiza referințelor bibliografice s-a constatat că mecanismele cu elemente flexibile sunt sisteme dinamice flexibile cu un număr infinit de grade de libertate, iar ecuațiile lor de mișcare sunt modelate de ecuații diferențiale parțial neliniare, la care soluțiile analitice sunt în unele cazuri imposibil de obținut. Sunt prezentate în mod explicit, mai multe tipuri de probleme pentru analiza răspunsului cinematic sau dinamic al mecanismelor cu elemente deformabile, cum ar fi :

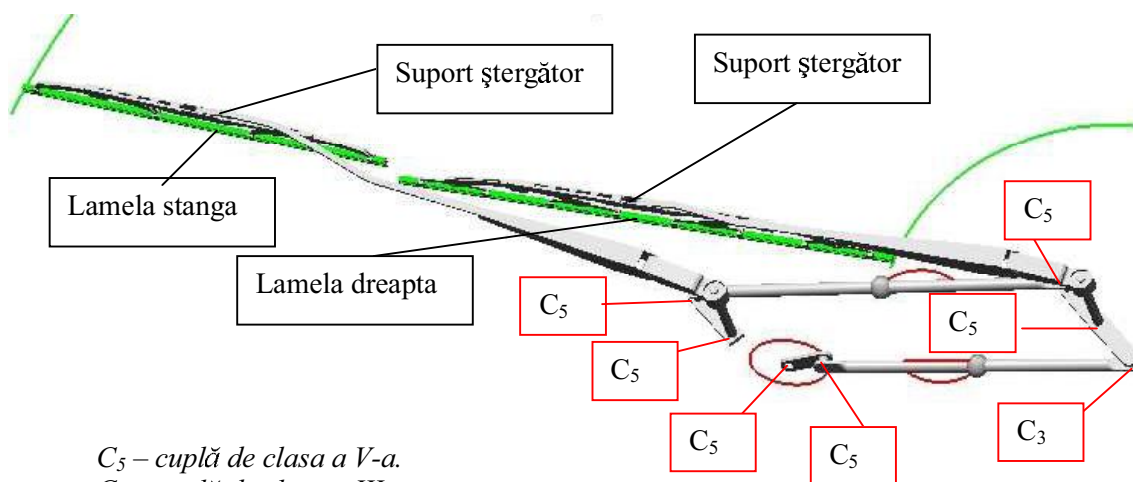
- schema de calcul prin metoda elementului finit, a dinamicii inverse a mecanismelor cu bare;
- modelarea cu elemente finite a mecanismelor cu bare, folosind tehnica integrării deplasate;
- metodă pentru modelarea cu elemente finite de tip *beam*, pentru analiza vitezelor și accelerațiilor unui mecanism 2D;
- analiza tensiunilor în mecanismele cu bare.

Analiza atentă a referințelor bibliografice scoate în evidență faptul că modelarea cu elemente finite a lanțurilor cinematice cu elemente deformabile permite rezolvarea unor probleme complexe

de cinematică sau dinamică pentru sisteme mecanice, unele cu structuri chiar complicate, cu considerarea condițiilor de contur și a încărcărilor reale ale sistemului mecanic, prin construirea unor modele cinematice sau dinamice ușor de implementat pe calculator, pentru simularea numerică a funcționării sistemului în spațiul bidimensional sau tridimensional.

In capitolul 2 al lucrării se prezintă o metodă pentru analiza cinematică a mecanismelor cu elemente rigide. In prima parte a capitolului este fundamentat modelul matematic, care permite analiza cinematică pentru un sistem multicorp, ce conține cuple de rotație sau translație.

Acest model se bazează pe un formalism matricial relativ simplu, cu matrici de transformare a coordonatelor (3x3) și matrici de conversie pentru a considera forma elementelor cinematice. Metoda permite calculul parametrilor cinematici în raport cu sistemul de referință global sau sisteme de referință solidare cu elementele cinematice (poziții, viteze și accelerații).



C_5 – cuplă de clasă a V-a.
 C_3 – cuplă de clasă a III-a.

Se face studiul cinematic al mecanismului ștergătorului de parbriz de la un autoturism de tip Matiz. Cercetările s-au orientat către acest mecanism deoarece conține elemente cinematice cu mișcări plane sau spațiale, fiind posibilă construirea unui stand experimental în Laboratorul de Organe de mașini al Facultății de Mecanică din Craiova. Cunoscând geometria mecanismului și legea de mișcare a elementului motor, modelele matematice de analiză cinematică, integrate în pachetul de programe Maple, au permis identificarea legilor de variație în timp pentru pozițiile, vitezele și accelerațiile elementelor cinematice și ale unor puncte caracteristice de pe mecanism. S-a făcut simularea funcționării mecanismului în spațiul 3D, cu trasarea traiectoriilor unor puncte caracteristice folosind programul ADAMS sau VisualNASTRAN.

Capitolul 3 prezintă o metodă de analiză dinamică a sistemelor mecanice mobile cu elemente rigide. Metoda se bazează pe formalismul Newton Euler, completat cu metoda multiplicatorilor lui Lagrange. Pe acest algoritm se construiește analiza dinamică inversă, prin care se identifică expresiile analitice pentru componentele taylorului forțelor de legătură din cuplele cinematice de rotație și de translație, în raport cu sistemul de referință global sau sistemele de referință proprii. Algoritm prezentat în acest capitol are la bază trei sisteme de referință și anume: sistemul de referință global, sistemul de referință solidar cu elementul cinematic și sistemul de referință centrat în cupla cinematică. In partea a doua a acestui capitol, se dezvoltă analiza dinamică inversă a mecanismului ștergătorului de parbriz, cu identificarea legilor de variație în timp a forțelor de legătură din cuplele cinematice.

Se parcurg în principal următoarele etape:

- se construiește modelul cinematic al mecanismului, cu identificarea expresiilor analitice pentru pozițiile, vitezele și accelerațiile centrelor de masă;
- se identifică ecuațiile de constrângere cinematică;
- se evaluează jacobianul corespunzător sistemului de ecuații care guvernează cinematica mecanismului ;

- se construiește matricea maselor;
- se identifică vectorul forțelor generalizate;
- se definește vectorul coordonatelor generalizate și se construiește sistemul de ecuații care guvernează mișcarea mecanismului în regim dinamic.

Pentru analiza dinamică inversă, se determină în baza modelelor matematice prezentate la începutul capitolului, vectorul multiplicatorilor lui Lagrange. Procesarea numerică a modelelor matematice a fost posibilă prin elaborarea unui program flexibil, care permite trecerea ușoară de la analiza dinamică directă la cea inversă. De asemenea, în acest capitol se propune și se dezvoltă o metodă pentru analiza dinamică a sistemelor multicorp, cu considerarea elementelor cinematice deformabile. Metoda respectă structura capitolului, adică se bazează pe formalismul Newton Euler completat de multiplicatorii lui Lagrange, cu introducerea unor matrici suplimentare (matricea de rigiditate, etc.) și cu considerarea componentei flexibile din structura vectorului coordonatelor generalizate. Identificarea legilor de variație în timp ale forțelor de legătură, în regim dinamic, s-a făcut pentru a fi posibilă modelarea cu elemente finite a întregului mecanism, fie analitic, fie folosind programe de mare performanță (ANSYS, NASTRAN, ALGOR, COSMOS, etc.).

In capitolul 4 se prezintă o metodă pentru analiza dinamică a mecanismelor cu elemente deformabile, prin cuplarea mișcării de solid rigid cu cea de solid deformabil. Metoda se bazează pe o interfață construită între modelul cinematic dezvoltat în capitolul 2 și un model dinamic care se bazează pe algoritmul Kane. Această interfață folosește metoda elementului finit, care permite astfel cuplarea mișcării de solid rigid cu cea de solid elastic. Modelarea cu elemente finite, suplinită de algoritmul Kane, permite identificarea structurii matricilor care guvernează ecuațiile de mișcare ale unui sistem dinamic, adică matricea maselor, matricea de rigiditate, matricea de amortizare și vectorul încărcărilor nodale. Fiecare din aceste matrici are două componente și anume: o așa numită componentă elastică, suplinită de modelul cu elemente finite și o componentă dinamică care ține seama de parametrii cinematici ai elementelor conectate într-un mecanism. În finalul acestui capitol, se propune o metodă pentru analiza modal dinamică, bazată pe construirea în principal a unei matrici modale, cea formată cu modurile proprii de vibrație, urmărindu-se decuplarea sistemului de ecuații diferențiale. Metoda poate fi implementată pe calculator, însă, deși structura programului este simplă, timpul de lucru este relativ mare, pentru că este necesară evaluarea frecvențelor și modurilor proprii pentru fiecare secvență de timp.

Capitolul 5 cuprinde modelarea cu elemente finite a mecanismului ștergătorului de parbriz, considerând elementele deformabile. Modelarea cu elemente finite urmărește algoritmul dezvoltat în capitolul anterior, astfel încât, elementele cinematice se vor discretiza în elemente finite de tip bară, cu câte două noduri și trei sau șase grade de libertate pe nod, în funcție de caracterul mișcării, respectiv plan sau spațial. Se definește structura vectorului deplasărilor nodale, pentru fiecare element finit, așa încât pentru întreaga structură, acest vector se constată că are 28 componente. Pentru fiecare element finit, în funcție de structura vectorului deplasărilor nodale, se construiesc: matricea funcțiilor de interpolare, matricea de rigiditate cu cele două componente elastică și dinamică, componenta elastică și componenta dinamică a vectorului forțelor nodale, matricea maselor și matricea de transformare a coordonatelor, la trecerea de la sistemul de referință local, la cel global.

Pentru forțele nodale, modelele matematice propuse țin cont de forțele masice și de inerție și de asemenea, de forțele și momentele concentrate.

Analiza elastodinamică a acestui mecanism, prin modelarea cu elemente finite se poate realiza în două variante, respectiv prin decuplarea elementelor cinematice și considerarea forțelor de legătură calculate în regim dinamic (capitolul 3) sau prin considerarea mecanismului ca o structură formată din elemente finite conectate prin noduri.

După evaluarea componentelor elastice și dinamice ale matricilor din ecuația de mișcare, pentru fiecare element finit se construiește sistemul de ecuații asamblat la nivelul întregului mecanism, cu considerarea mișcării în raport cu sistemul de referință global.

Este importantă structura vectorului deplasărilor nodale, care trebuie gândită astfel încât să permită considerarea corectă a condițiilor de contur care, introduse în sistemul de ecuații asamblat,

conduc la identificarea răspunsului dinamic al mecanismului, în condiții mult apropiate de funcționarea reală a acestuia, în plus având garanția rezolvării în condiții mai ușoare a sistemelor de ecuații.

Structura relativ complexă a matricilor și vectorului încărcărilor nodale, condiționate de numărul gradelor de libertate pe noduri, nu ridică probleme speciale de programare pe calculator, pentru că s-a abordat un formalism matricial foarte ușor de implementat pe calculator.

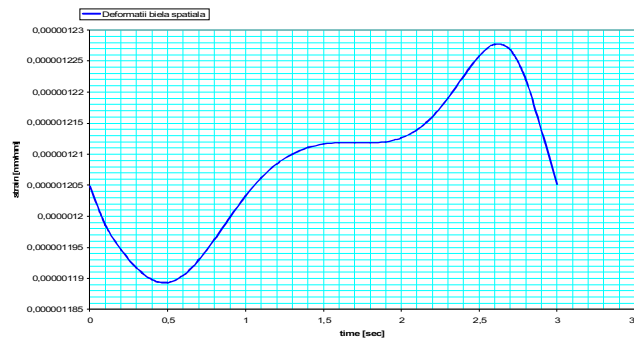
S-a construit un program prezentat în anexa 3, care respectă structura modelelor matematice, fiind ușor de adaptat pentru lucrul direct pe mecanism, sau prin decuplarea elementelor, sau în urma evaluării frecvențelor și modurilor proprii de vibrații și a construirii matricii modale și care permite analiza modal-dinamică a întregului mecanism.

Programul permite determinarea legilor de variație a deplasărilor, vitezelor și accelerațiilor unor puncte particulare sau nodale, aceste legi putând fi materializate prin diagrame 2D sau 3D.

In capitolul 6 se prezintă o metodă pentru modelarea cu elemente finite, a sistemelor mecanice mobile plane și spațiale cu elemente deformabile, la care elementele cinematice se vor discretiza în elemente finite, asemănător procedurii prezentate în capitolul 5.

Metoda dezvoltată în acest capitol urmărește definirea riguroasă a condițiilor de legătură dintre elementele cinematice, așa încât se vor defini patru sisteme de referință:

- sistemul de referință global $T(XZY)$, fix în raport cu timpul;
- sistemul de referință solidar cu elementul cinematic, $T_i(x_i, y_i, z_i)$, a cărui origine O_i nu este rigid atașată de elementul cinematic i , pentru a descrie mișcarea elementelor deformabile când apar rotații unghiulare mari;
- sistemul de coordonate $T_i^j(x_i^j, y_i^j, z_i^j)$ atașat rigid de elementul finit j al elementului cinematic (corpul) i , care translatează și se rotește odată cu elementul finit j ;
- sistemul de referință intermediar atașat elementului finit j , $\bar{T}_i^j(\bar{x}_i^j, \bar{y}_i^j, \bar{z}_i^j)$, cu originea rigid legată de originea sistemului de referință T_i , adică O_i . Acest sistem, inițial este orientat la fel ca sistemul de referință $T_i^j(x_i^j, y_i^j, z_i^j)$, atașat elementului finit.



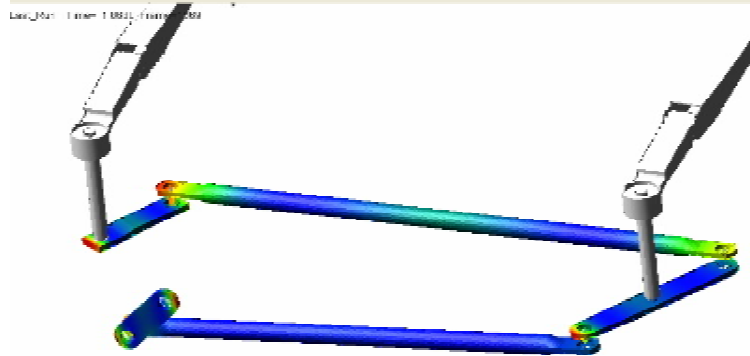
Legea de variație în timp a deplasărilor elastice rezultante pentru biela în mișcare spațială

Correspondența acestor sisteme de referință, se identifică relația de legătură dintre deplasarea arbitrară a unui punct din interiorul elementului finit și vectorul deplasărilor nodale.

Se evaluează energia cinetică pentru fiecare element finit j de pe elementul cinematic i , ținând cont că în structura vectorului coordonatelor generalizate, pe lângă componentele care definesc locația și orientarea elementului cinematic se regăsesc și deplasările nodale. Se construiesc matricea funcțiilor de interpolare, matricea maselor și matricea de rigiditate, având la bază ideea cuplării mișcării de solid rigid cu cea de solid elastic. Este important de precizat faptul că, vectorul deplasărilor nodale are două componente, una care exprimă deplasările nodale în stare nedeformată și alta care exprimă deplasările nodale în stare deformată. Aceste matrici se identifică ca structură pentru un element finit plan și respectiv pentru un element finit spațial, când avem 12 coordonate

nodale. Modelele matematice prezentate în prima parte a capitolului sunt particularizate, prin modelarea elastodinamică a bielei de la mecanismul ștergătorului de parbriz analizat în capitolele anterioare. În finalul capitolului, se prezintă diagramele de variație în timp pentru deplasările elastice, deformațiile și tensiunile care apar în biela mecanismului aflat în mișcare plan paralelă. Aceste legi sunt evaluate pentru ciclul de mișcare al mecanismului, considerat la un interval de 3 secunde. Valorile maxime pentru deformații, deplasări și tensiuni corespund cercetărilor experimentale cu valori cum ar fi $1,73 \cdot 10^{-6}$; 0,002013 mm; 0,403 MPa.

În capitolul 7, se prezintă analiza modal dinamică a mecanismului ștergătorului de parbriz cu programul ADAMS. În prima parte a capitolului, se prezintă fundamentele teoretice ale analizei modal dinamice a unui sistem mecanic mobil, când elementele sunt considerate deformabile. În acest caz, ecuațiile de mișcare care guvernează un corp flexibil, sunt derivate din ecuațiile lui Lagrange a căror structură este prezentată explicit în lucrare.



Modelarea cu elemente finite a mecanismului de acționare al ștergătorului de parbriz

Se parcurg următoarele etape importante:

- se elaborează modelul 3D al mecanismului, la care elementele cinematice sunt definite ca formă, geometrie, proprietăți masice și proprietăți de material;
- se definesc cuplele cinematice ale mecanismului, cu constrângerile și mobilitățile corespunzătoare, se definesc sistemele de axe locale și global față de care se calculează parametrii cinematici ai mecanismului;
- se definește contactul dintre lamele și parbriz, se modelează legătura elastică dintre suportul lamelei și brațul ștergătorului, printr-un model dinamic compus dintr-un actuator și un element elastic caracterizat printr-un coeficient de rigiditate și unul de amortizare,
- se definește legea de mișcare a cuplei motoare, stabilită pe cale experimentală (capitolul 9) și încărcările (forțe sau momente) care solicită elementele cinematice;
- se procesează analiza dinamică, urmărindu-se legile de variație în timp a parametrilor cinematici, cu simularea mișcării mecanismului în spațiul tridimensional, într-un interval de 3 secunde, când elementele cinematice sunt rigide;
- se construiește o procedură pentru transformarea elementului cinematic de tip rigid în element flexibil, cu alegerea tipului elementului finit și setarea valorii medii și minime a mărimii discretizării;
- se stabilesc numărul modurilor de vibrație și nodurile de interes și se adoptă procedura pentru plasarea unui nod în centrul de masă al elementului cinematic, sau în puncte în care interesează variația parametrilor elastodinamici;
- se procesează analiza modal dinamică, cu considerarea elementelor cinematice flexibile, în principal biela cu mișcare spațială și apoi biela cu mișcare plană;
- se trasează diagramele de variație în timp pentru deplasările elastice transversale, viteze și accelerații, pentru nodul plasat în centrul de masă, în raport cu sistemele de axe local și respectiv global. Aceste diagrame de variație au fost analizate pentru fiecare element cinematic.

În finalul capitolului se prezintă rezultatele analizei modale a mecanismului ștergătorului de parbriz, cu identificarea frecvențelor și modurilor de vibrație pentru fiecare element cinematic.

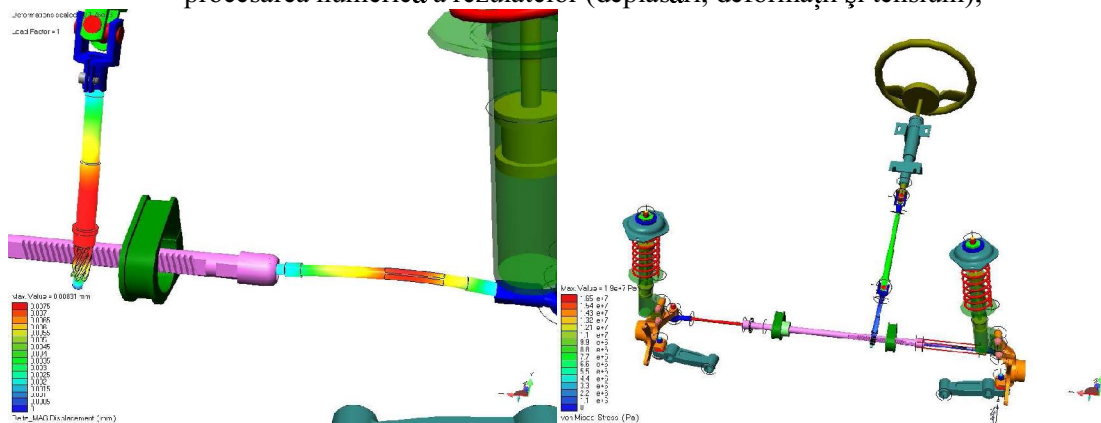
Modelul construit cu programul ADAMS, permite analiza elastodinamică pentru fiecare element cinematic sau pentru întregul ansamblu, când elementele cinematice sunt considerate ca fiind deformabile.

Modelarea cu programul ADAMS a analizei modal dinamice s-a concretizat prin rezultate confirmate și de cercetarea experimentală, rezultate materializate prin diagrame și simulări ale funcționării mecanismului în spațiul tridimensional.

In capitolul 8, se prezintă modelarea elastodinamică a mecanismului de direcție de la un autoturism de tip Matiz. Se urmărește analiza răspunsului dinamic al unor subansamble, cu considerarea elementelor cinematice deformabile. Este analizat cu metoda elementului finit, comportamentul elastodinamic al transmisiei pinion-cremalieră și a celor două bielete din structura mecanismului de direcție.

S-au parcurs următoarele etape:

- elaborarea modelului 3D pentru sistemul de direcție și suspensie cu programul Mechanical Desktop, cu considerarea în amănunt a tuturor elementelor componente, împreună cu condițiile de legătură și restricțiile date de funcționarea mecanismului;
- proiectarea unei interfețe pentru transferul acestui model în programul VisualNastran;
- modelarea dinamică a mecanismelor de direcție și suspensie:
 - construirea modelului cinematic care presupune definirea elementelor cinematice ca subansamble, a legăturilor dintre acestea ca și cuple cinematice;
 - construirea modelului dinamic al mecanismelor de direcție și suspensie, care presupune definirea modelului dinamic pentru cupla de translație care suplinește amortizorul (forță, coeficient de amortizare, coeficient de rigiditate), a legăturii elastice dintre amortizor și caroserie, a legii de variație a momentului motor aplicat la volan și a unor încărcări pentru simularea în regim dinamic a traversării unor obstacole;
- modelarea cu elemente finite a transmisiei pinion-cremalieră și a celor două bielete, care presupune:
 - elaborarea modelului tridimensional al angrenajului pinion-cremalieră, cu respectarea elementelor geometrice și a profilului danturii;
 - discretizarea în elemente finite a modelului geometric, cu definirea condițiilor de contur și a proprietăților de material;
 - definirea modelului de contact al danturii dintre pinion și cremalieră;
 - procesarea numerică a rezultatelor (deplasări, deformații și tensiuni);

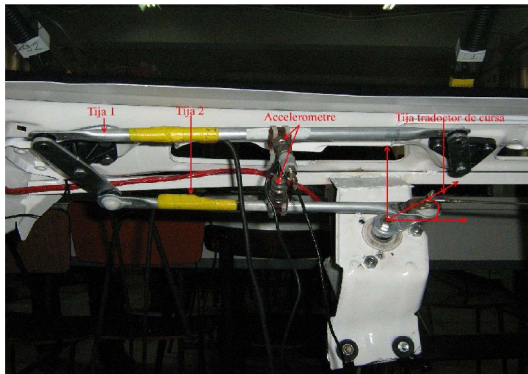


Mecanismul de direcție – modelare cu elemente finite

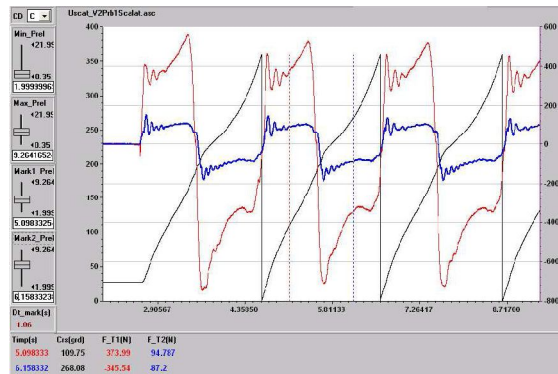
Este important de precizat faptul că, transmisia pinion-cremalieră și cele două bielete sunt analizate cu metoda elementului finit în regim dinamic, în contextul legăturilor cu elementele din

structura mecanismului. Studiul angrenajului în acest context, a permis modelarea contactului în condiții mult apropiate de condițiile reale de funcționare. Simularea funcționării întregului mecanism, prin analiza cu elemente finite, a permis obținerea unor date importante legate de limitele generării și angrenării corecte, contactul fiind analizat pe toată lungimea segmentului de angrenare. Cele două bielete (stânga și dreapta) au fost modelate cu elemente finite, în scopul identificării răspunsului dinamic, în calitate de solide elastice deformabile. Se prezintă legile de variație pentru tensiunile, deformațiile și deplasările care apar în cele două bielete, în condiții normale de mers și pentru situația când cele două roți trec peste un obstacol. Este important de precizat faptul că, pentru o identificare mai relevantă a rezultatelor elastodinamice, s-au trasat diagramele de variație în timp pentru tensiuni, deformații și deplasări, la fiecare din cele două bielete ale mecanismului de direcție.

In capitolul 9 se prezintă cercetările experimentale, care s-au efectuat pe un autoturism de tip Matiz, în Laboratorul de Organe de mașini din cadrul Facultății de Mecanică. In prima parte a capitolului este descrisă aparatura folosită pentru efectuarea măsurătorilor. Astfel, s-au folosit traductoare de forță de întindere compresiune pentru măsurarea forțelor din cele două bielete ale mecanismului de acționare a ștergătoarelor, traductoare de forță de încovoiere pentru măsurarea forțelor de acționare a ștergătoarelor, un traductor de moment pentru măsurarea momentului dezvoltat în cupla motoare, traductoare de accelerație care au fost amplasate la mijlocul celor două bielete pentru determinarea vibrațiilor transversale din bielete, traductoare de cursă etc.



Model experimental



Diagrame de variație pentru parametrii dinamici

S-a folosit un sistem de achiziție date de tip *Spider8*. Cu parbrizul în stare uscată, au fost efectuate mai multe măsurători, la cele două viteze de acționare a ștergătoarelor. Au fost determinați următorii parametri:

- Moment de acționare la axul motorului electric, $M(\text{Nm})$,
- Forța în biela 1, $F_{T1}(\text{N})$,
- Forța în biela 2, $F_{T2}(\text{N})$,
- Forța în ștergătorul 1, $F_{S1}(\text{N})$,
- Forța în ștergătorul 2, $F_{S2}(\text{N})$,
- Cursa, $\text{Crs}(\text{grd})$,
- Accelerația transversală în biela 1, $\text{AccT1}(\text{m/s}^2)$,
- Accelerația transversală în biela 2, $\text{AccT2}(\text{m/s}^2)$,

Frecvența de achiziție la sistemul *Spider8* a fost de 4800 eșantioane/s/canal.

Durata înregistrărilor a fost de cca.10 ...13 s, incluzând momentele de pornire și de oprire a ștergătoarelor.

În mediul de programare TestPoint, a fost realizat programul „PrelMatiz.tst” pentru determinarea răspunsului vibratoriu în domeniile timp și frecvență, a parametrilor caracteristici acționării ștergătoarelor, menționați anterior.

Măsurătorile au fost efectuate la cele două viteze de acționare a ștergătoarelor:

- viteza V1 cu frecvențe de acționare de 0.439 Hz (cca. 26.3 cicluri pe secundă),
- viteza V2 cu frecvențe de acționare de 0.490 Hz (cca. 29.4 cicluri pe secundă).

Condițiile de ștergere a parbrizului au fost menținute identice. La analiza în domeniul timp, au fost determinate valorile eficace ale parametrilor caracteristici, pe un număr de 6 cicluri de acționare.

Pentru analiza comparativă a parametrilor determinați la cele două viteze de acționare a ștergătoarelor, în reprezentările grafice separate pe parametri, au fost alese momente de citire a parametrilor caracteristici la aceleași valori ale unghiului bielei, respectiv 109° pentru deplasarea ștergătorului către dreapta și 268° pentru deplasarea ștergătorului către stânga. Valorile parametrilor la momentele respective sunt transmise în display-urile corespunzătoare din partea inferioară graficului.

Din analiza valorilor eficace ale parametrilor, reprezentate tabelar și a valorilor instantanee transmise în display-urile din graficele corespunzătoare celor două viteze, rezultă că pentru cele două viteze, parametrii caracteristici au practic aceleași valori, cu excepția vibrațiilor care sunt mai mari la acționarea cu viteza V2.

Din analiza spectrală se observă că predominantă este prima armonică, corespunzătoare frecvenței de acționare.

Parametrii dinamici măsuțați experimental în condițiile descrise, pentru cele două viteze, sunt reprezentați sub forma unor diagrame de variație în timp sau frecvență, cu indicarea expresă a valorilor importante, fie un singur parametru, fie cuplați pentru a înțelege mai bine comportamentul dinamic al mecanismului pentru situațiile de comparare prestabilite.

Contribuții originale:

1. Prezentarea într-o formă structurată orientată pe clase de probleme a unor realizări de referință în cinematica și dinamica lanțurilor cu elemente deformabile.
2. Metodă general valabilă pentru analiza cinematică a mecanismelor plane și spațiale.
3. Modelarea cinematică a mecanismului ștergătorului de parbriz de la un autoturism, cu procesarea pe calculator a modelelor matematice, cu trasarea 2D și 3D a curbelor de bielă, cu simularea funcționării mecanismului în spațiul tridimensional, când elementele cinematice sunt rigide.
4. Elaborarea modelelor dinamice, în formalismul Newton Euler, completat cu metoda multiplicatorilor lui Lagrange pentru mecanismul ștergătorului de parbriz, când elementele cinematice sunt rigide.
5. Elaborarea unui model matematic al ecuațiilor de mișcare, în formalismul Newton Euler, completat cu metoda multiplicatorilor lui Lagrange pentru mecanismul ștergătorului de parbriz, când elementele cinematice sunt considerate deformabile.
6. Procesarea modelelor matematice, prin construirea unui program flexibil, laborios, ușor de adaptat pentru analiza dinamică directă sau inversă, cu trasarea legilor de variație în timp pentru forțele de legătură din cuplele cinematice.
7. Modelarea cu elemente finite a analizei elastodinamice a mecanismului ștergătorului de parbriz, cu identificarea structurii vectorului deplasărilor nodale, a componentelor elastice și dinamice ale matricilor care definesc ecuațiile de mișcare în stare elementală sau asamblată, cu elaborarea unui program de calcul general valabil pentru analiza dinamică sau modal-dinamică.
8. Elaborarea unei metode bazate pe formalismul Lagrangian pentru modelarea cu elemente finite a sistemelor mecanice plane și spațiale, cu definirea a patru sisteme de referință pentru elemente cinematice și elemente finite, cu reconsiderarea structurii vectorului deplasărilor nodale prin componente în stare nedeformată și deformată, a matricilor de masă, de rigiditate, a vectorului încărcărilor nodale, prin definirea condițiilor de compatibilitate dintre elemente cu ajutorul unor matrici booleene. Implementarea pe computer a formulării cu

- elemente finite este simplă și eficientă deoarece folosind matricile elementelor finite, se reduce numărul de invarianți ai mișcării.
9. Procesarea numerică a legilor de variație în timp pentru deplasări deformații și tensiuni, pentru biela mecanismului ștergătorului de parbriz aflată în mișcare plană.
 10. Prezentarea structurată pe etape a fundamentelor teoretice care stau la baza modelării cu elemente finite a răspunsului modal-dinamic al sistemelor mecanice mobile cu programul ADAMS.
 11. Modelarea dinamică a mecanismului ștergătorului de parbriz, cu programul ADAMS, cu definirea contactului dintre lamele și parbriz, a modelului dinamic al legăturii elastice dintre brațul ștergătorului și suport, cu identificarea legilor de variație în timp pentru toți parametrii cinematici ai sistemului, când elementele cinematice sunt considerate rigide.
 12. Simularea numerică în spațiul tridimensional a comportării mecanismului ștergătorului de parbriz, în regim dinamic, pe poziții suprapuse sau mișcare continuă pe un ciclu de 3 secunde, cu trasarea traiectoriilor centrelor de masă de la elementele cu mișcare plană și spațială, cu programul ADAMS și VisualNastran.
 13. Modelarea cu elemente finite a analizei modal-dinamice a mecanismului ștergătorului de parbriz, cu identificarea legilor de variație în timp pentru deplasările elastice, vitezele și accelerațiile transversale ale elementelor cinematice, considerate deformabile, în raport cu sistemele locale și globale de axe, pentru nodurile de interes predefinite, în programul ADAMS.
 14. Analiza modală cu programul ADAMS, cu identificarea frecvențelor și a modurilor proprii de vibrații, cu simulări în spațiul tridimensional al comportamentului dinamic al elementelor cinematice, pentru fiecare mod de vibrație.
 15. Elaborarea modelului 3D pentru mecanismul de direcție și de suspensie de la un autoturism de tip Matiz, cu toate subansamblele și elementele componente, cu definirea condițiilor de contur, a unor restricții, a proprietăților masice și de material.
 16. Definirea modelelor dinamice pentru sistemul de amortizare al mecanismului de suspensie, cu programul Visual Nastran.
 17. Construirea modelului dinamic al mecanismului de direcție și de suspensie, cu programul Visual Nastran.
 18. Modelarea cu elemente finite a transmisiei pinion – cremalieră de la mecanismul de direcție, cu analiza problemelor de contact și interferență în regim dinamic.
 19. Analiza răspunsului dinamic al mecanismului de direcție cu considerarea unor elemente ca fiind solide deformabile.
 20. Simularea 3D a răspunsului dinamic al mecanismelor de direcție și de suspensie, considerate ca un ansamblu, cu condițiile cinematice și de contur predefinite, ca sisteme multicorp rigide și apoi deformabile.
 21. Stand experimental pentru studiul în regim dinamic al mecanismului ștergătorului de parbriz.
 22. Identificarea experimentală a legilor de variație în timp sau în frecvență pentru parametrii cinematici și dinamici ai mecanismului (curse liniare și unghiulare, moment motor, forțe în ștergătoare, forțele din lamele), pentru regimuri de funcționare diferite.
 23. Analiza experimentală a comportării la vibrații a celor două biele din structura mecanismului ștergătorului de parbriz, cu descompuneri spectrale pentru evaluarea analizei armonice.