



UNIVERSITATEA POLITEHNICA TIMIȘOARA

**DETERMINAREA PARAMETRILOR CUTIILOR
DE VITEZE AUTOMATE ÎN SCOPUL
ÎMBUNĂȚĂȚIRII CARACTERISTICILOR
TEHNICO-FUNCȚIONALE ALE ACESTORA**

Ing. Ion Silviu BOROZAN

Conducător științific:
Prof.dr.ing. Inocențiu MANIU

**Conducător științific:
Prof. dr. ing. Inocențiu MANIU**

2014
**TEZA DE DOCTORAT
REZUMAT**

Cuvinte cheie:

cutii de viteze automate, optimizare, cinematică, modelare numerică, termografie, analiză structurală.

Teze de doctorat cuprinde 180 pagini, 83 figuri, 14 tabele și 130 relații matematice.

Acknowledgments:

"Teza de doctorat a fost realizată cu sprijin parțial din grantul strategic POSDRU 107/1.5/S/77265, (2010), cofinanțat din Fondul Social European "Investește în oameni", în cadrul Programului Operațional Sectorial Dezvoltare Resurse Umane 2007-2013".

Scopul prezentei lucrări este determinarea parametrilor cutiilor de viteze automate în vederea îmbunătățirii caracteristicilor tehnico-funcționale ale acestora.

Teza își propune următoarele obiective:

- trecerea în revistă a evoluției în timp a cutiilor de viteze automate începând de la cutiile de viteze simple, în trei trepte, până la cele complexe (7 până la 9 trepte de viteză);
- prezentarea funcțiilor cutiilor de viteze în structura automobilelor, a avantajelor și dezavantajelor cutiilor de viteze automate în comparație cu cele manuale;
- prezentarea structurii unei cutii de viteze automate în șapte trepte și descrierea componentelor principale ale acesteia;
- întocmirea unor fișe de chestionar privind posibilele defecțiuni ale cutiilor de viteze automate, adresate service-urilor din zona de Vest a țării specializate în repararea și întreținerea autovehiculelor care au această dotare;
- prelucrarea răspunsurilor reprezentanților de service prin calcule statistice și informarea acestora privind rezultatele acestui sondaj în vederea aprovizionării cu piesele care prezintă gradul cel mai ridicat de defecțiune;
- realizarea analizei cinematice pentru cutiile de viteze automate cu trei, patru și șapte trepte în scopul remarcării treptelor reductoare și a celor amplificatoare de turație;

- evidențierea încărcărilor pe treapta de viteză cea mai solicitată și trasarea caracteristicii tracțiunii exterioare și a forței la roată a autovehiculului echipat cu cutia de viteze cu șapte trepte (7G Tronic);
- descrierea acționării și comenzii cutiilor de viteze automate în scopul înțelegerii corecte a stărilor elementelor componente ale acestora și urmărirea variației presiunilor în blocul hidraulic, în timpul schimbării vitezelor;
- studierea fenomenelor termice și determinarea variației temperaturilor prin mijloace termografice prin măsurare pe stand și în timpul funcționării pe autovehicule;
- simularea propagării căldurii în carcasa cutiei de viteze 7G Tronic cu ajutorul soft-urilor de modelare numerică ce au la bază metoda elementului finit și compararea rezultatelor cu cele obținute prin măsurare;
- analiza stărilor mecanice și termice ale cuplajelor multidisc pentru diferite perechi de materiale utilizând soft-urile de modelare numerică ce au la bază metoda elementului finit;
- determinarea amplitudinii vibrațiilor în timpul funcționării pe stand a cutiei de viteze automate 7G Tronic;
- analiza formei tehnologice și a sturcturii chimice/metalografice a carcasei cutiei de viteze automate 7G Tronic în vederea unor posibile modificări ale compoziției pentru realizarea unei răcirii mai eficiente a acesteia.

Cutia de viteze automată pe care se fac cercetările experimentale în prezenta lucrare a fost achiziționată în cadrul proiectului strategic ID 77265, axa prioritară 1 „Educație și formare profesională inițială de calitate în sprijinul dezvoltării și creșterii economice” Domeniul major de intervenție 1.5 „Programe doctorale și postdoctorale în sprijinul cercetării”, Contract POSDRU / CPP107/ DMI 1.5/S/77265; titlul proiectului „Spre cariere de cercetare prin studii doctorale”.

Această cutie de viteze automată (CVA) este denumită sub formă codificată 722.9, iar sub denumire mai populară cutie de viteze automată 7G Tronic ce asigură șapte viteze de mers înainte și două viteze de mers înapoi. Aceasta este o cutie de viteze automată proiectată și fabricată de grupul Daimler AG Stuttgart, Germania, ce echipează în general Surprinzător, multe dintre mecanismele și tehnologiile care fac funcțională cutia de viteze automată modernă, erau deja în folosință în perioada, destul de îndelungată, de geneză prin care a trecut cutia de viteze manuală. Angrenajele planetare erau deja folosite în cutia de viteze manuală pentru Ford, modelul T și modelul K (1906). Cuplarea, prin intermediul fluidelor, era deja folosită de General Motors încă din anul 1937. Multe dintre aceste tehnologii au

fost create încă de la începutul anilor 1900, în Germania, pentru a fi folosite în aplicații militare maritime.

Primul model de cutii de viteze semi-automate a apărut la un producător impozant în domeniul auto în 1937. General Motors (GM) a numit aceste cutii de viteze automate „Transmisii Automate de Siguranță-TAS” („Automatic Safety Transmission-AST”). Cu angrenaje planetare și un ambreiaj de fricțiune convențional, aceste cutii de viteze automate ofereau trecerea dintr-o treaptă de viteză în alta mai ușoară și cereau un nivel mai redus în abilitățile de a conduce autoturismul deci ofereau o ergonomie sporită a autovehiculului .

Cadillac și Oldsmobile au lansat modele cu transmisie automată TAS (AST) până spre sfârșitul anului 1939. Buick a folosit aceste transmisii numai în anul 1938. Autovehiculele echipate cu cutiile de viteze semi-automate TAS nu au inspirat niciodată publicul larg și nici nu au avut vânzări foarte mari.

O cutie de viteze automată, în adevăratul ei sens, a fost folosită pentru prima oară de către Oldsmobile în 1948. Creată de către inginerul de la GM, Eng. Earl Thompson, ea a fost numită „Hydra-Matic”. Cutia de viteze automată „Hydra-Matic” a trecut printr-o serie lungă de îmbunătățiri și rețușuri până în anul 1955. Dar, modelul de bază al cutiei de viteze automate și teoria folosită au rămas aceleași pe toată durata, remarcabil de lungă, a vieții sale. Peste ani, cutia de viteze automată „Hydra-Matic” a fost folosită în multe aplicații militare, inclusiv tancurile M5 Stuart și M24 Chaffe. Alți producători auto au cumpărat și folosit cutii de viteze automate „Hydra-Matic”. Printre aceștia se numără: Hudson, Nash Rambler, Frazer Nash, Kaiser Willys, Lincoln, Rolls-Royce, Bentley.

Cutia de viteze automată 7G Tronic (722.9) poate transmite puteri de până la 200 kW și momente de până la 730 Nm, iar față de predecesorul său (cutia de viteze automată 5G Tronic) asigură o economie de 0,6 litri la 100 km.

Totodată autovehiculele echipate cu cutia de viteze automată 7G Tronic au și o putere la motor de minim 150 kW.

Transmisiiile cicloidale din cadrul cutiei de viteze automate 722.9, în special sistemul planetar „Ravigneaux”, dețin ca și principale avantaje, următoarele:

- construcție compactă și de gabarit relativ redus, pentru că transferul energetic se realizează în paralel pe mai multe căi divizate, cu ajutorul grupelor de sateliți;

- fiabilitate ridicată, asigurată de condițiile favorabile de lubrificare sub presiune și de răcire prin intermediul schimbătoarelor de căldură eficiente;

- posibilitățile de realizare a unor rapoarte de transmitere în limite relativ largi.

Varietatea extrem de bogată de soluții pentru trenul epicicloidal, este datorat faptului că la cutiile de viteză automate, spre exemplu pe un singur sistem planetar „Ravigneaux”, elementele de comutație (trei cuplaje și două frâne) oferă 32 variante posibile de configurare.

Cutia de viteze automată analizată în continuare, 7G Tronic (722.9) este compusă din mai multe subsisteme (componente):

a) hidrotransformatorul, numit și convertizorul de cuplu (en: torque converter)

b) mecanismele planetare

c) ambreiajele și frânele pentru cuplarea treptelor

d) modulul electrohidraulic de comandă

Conform datelor din literatura de specialitate, cutia de viteze automată 7G-Tronic cu 7 trepte de viteză de mers înainte și 2 de mers înapoi conține următoarele:

- arborele de intrare în cutia de viteze (legătura cu motorul termic)
- ambreiajul de blocare a hidrotransformatorului cu alunecare controlată și elemente de amortizare
- pompa de ulei pentru controlul presiunii de lucru
- mecanismele planetare și actuatoarele de schimbare a treptelor (ambreiaje și frâne multidisc)
- arborele de ieșire din cutia de viteze (legătura cu transmisia longitudinală, cardanică)
- sistemul de blocare pentru parcare (poziția „P” a levierului selector de programe)
- legătura mecanică cu levierul selector de programe
- modulul electro-hidraulic de control (conține senzori, supape electromagnetice și calculatorul cutiei de viteze)
- modulul electronic de comandă și control (calculatorul cutiei de viteze)
- supapele cu electromagnet (solenoid) pentru acționarea ambreiajelor și frânelor multidisc
- hidrotransformatorul (convertizorul de cuplu)

Se observă în urma testului statistic cu repartiția binomială și repartiția Pearson că în ambele cazuri probabilitatea de a surveni k defecțiuni este destul de redusă, având chiar valori subunitare. Toate acestea demonstrează, în general că fiabilitatea cutiilor de viteze automate este relativ ridicată.

Pentru a face o analiză cât mai amplă a cinematicii cutiilor de viteze automate am evidențiat câteva modele de referință pentru cutii de viteze automate. Astfel, pornind de la

cutiile de viteze automate cu trei trepte de viteză și continuând cu cele cu patru viteze, realizez în cele din urmă un calcul cinematic și o evaluare a solicitărilor treptei de viteză ale cutiei de viteze automate cu șapte trepte de viteză, mai precis pentru modelul 7G Tronic.

Un sistem planetar de roți dințate de tip „Ravigneaux” realizează patru trepte de mers înainte și una de mers înapoi.

Principalele avantaje ale acestui sistem de roți planetare de tip „Ravigneaux” sunt:

- construcție compactă și de gabarit redus, pentru că transferul energetic se realizează în paralel pe mai multe căi divizate;
- posibilități de realizare a unor rapoarte de transmitere în limite relative largi;
- fiabilitate ridicată, asigurată de condițiile favorabile de lubrificare .

Pentru analiza cinematică a cutiei de viteze automate cu patru trepte am ales o cutie de viteze automată Renault A R4 cu patru trepte de mers înainte și o treaptă de mers înapoi.

Conform datelor din literatura de specialitate, cutia de viteze automată 7G Tronic cu 7 trepte de viteză de mers înainte și 2 de mers înapoi se împarte în trei sisteme planetare: sistemul planetar de roți dințate de tip „Ravigneaux” și două sisteme planetare simple, denumite datorită poziționării lor: sistem planetar simplu față - SPSF și sistem planetar simplu spate – SPSS.

Pentru o transmisie planetară simplă există 3 cazuri distincte de rapoarte de transmitere reductoare și trei rapoarte de transmitere finale amplificatoare. Din aceste două cazuri două au rol inversor, pentru efectuarea treptelor de viteze de mers înapoi.

Primele concluzii desprinse încă din capitolul intitulat „Obiectivele și structura tezei” reliefează o structură concisă a lucrării.

În capitolul 2, se prezintă o evoluție a cutiilor de viteze automate în care se reliefează avantajele și dezavantajele acestora în comparație cu cele manuale, evidențiind importanța acestora. În continuare, se realizează o descriere amplă și bine structurată a cutiilor de viteze automate în special a cutiei de viteze automate cu șapte trepte, 7G Tronic.

În capitolul 3 se prezintă colectarea datelor avariilor generale ale cutiilor de viteze automate, urmând ca mai apoi să se facă o sinteză a fișelor proprii de chestionar care detaliază răspunsurile provenite de la principalele service-uri din zona de Vest a țării. Aceste date prelevate au folosit ca bază pentru studii statistice în care se evidențiază probabilitatea apariției principalelor avarii ale cutiilor de viteze automate, remarcând faptul că aceste probabilități au valori reduse. Aceste rezultate statistice, sinteza chestionarelor, cât și chestionarele în sine pot servi ca date folositoare service-urilor specializate în întreținerea,

repararea și aprovizionarea cu reperi ale cutiilor de viteze automate care prezintă grad frecvent de defectare.

Analiza cinematică, efectuată (în capitolul 4) după metoda inversării mișcării (Willis), a cutiilor de viteze automate cu trei, patru, șapte trepte redă atât evoluția cât și starea elementelor acestor tipuri de cutii de viteze automate în timpul funcționării. Se evidențiază totodată și dependența consumului energetic de rapoartele de transmitere finale ale celor trei modele analizate, concluzionând că cea optimă conform mai multor criterii este cea cu șapte trepte de viteză. Se evaluează, totodată, pentru cutia de viteze automată cu șapte trepte de viteză, solicitările de oboseală la încovoiere și la contact pentru treapta de viteză cea mai încărcată și se constată că aceasta se încadrează în solicitările limită admisibile.

Evidențierea calității acestei transmisii automate cu șapte trepte este reliefată în continuare și prin caracteristica exterioară a motorului și forța la roată pe toate cele șapte trepte de viteză, determinate pe autovehiculul echipat cu cutia de viteze automată 7G Tronic, reliefând o alură a curbelor foarte apropiată de cea teoretică.

Aționarea și comanda cutiilor de viteze automate se face în scopul înțelegerii corecte a stărilor elementelor componente ale acestora în funcție de presiunile distribuite și controlate prin blocul hidraulic de comandă. Se efectuează totodată o analiză pentru modificarea geometriei pinionului (creșterea diametrului de cap) din componența angrenajului interior al pompei ce alimentează cutia de viteze automată. Se conturează soluția optimă a geometriei pinionului care asigură un debit crescut al pompei. Efectul acestei măsuri este evitarea unei mișcări sacadate la plecarea din poziția de repaus a autovehiculului (la turația de relanti).

Capitolul 5 tratează în primă parte un studiu termografic care în urma reliefărilor imagistice cât și numerice conturează zonele cu cele mai ridicate temperaturi, în special zona cuplajelor multidisc și a angrenajelor planetare. Aceste rezultate vor constitui bazele, precum și referința experimentelor ulterioare. Variațiile de temperatură în interiorul cutiei de viteze automate 7G Tronic s-au determinat ulterior și pe autovehiculul echipat cu această cutie de viteze automată, iar rezultatele indică diferențe mici de temperatură între modul „Confort” și „Sport”, ceea ce demonstrează capacitatea de transfer termic foarte bune.

Analizele ulterioare implică softul de modelare numerică Abaqus 6.10 ce are la bază metoda elementului finit. Prin aceste simulări se evidențiază propagarea căldurii prin carcasa cutiei de viteze automate 7G Tronic care are rezultate identice cu experimentele termice anterioare, conturând aceleași zone cu temperaturi mai ridicate (zonele din vecinătatea cuplajelor multidisc și a mecanismelor planetare), cât și valori numerice asemănătoare.

Totodată, prin softul de modelare numerică Abaqus 6.10 se face analiza stărilor mecanice și termice ale cuplajelor multidisc pentru diferite perechi de materiale, rezultând că perechea formată din oțel 30Cr130 și material ecologic de frecare (ferodou non-azbest) EF-15 este optimă.

Pe standul de testare a cutiilor de viteze automate se înregistrează și vibrațiile generate de cutie în timpul funcționării. Valorile sunt redată în accelerații verticale, care ulterior sunt convertite în amplitudini. Se conturează că aceste valori (" $\leq \pm g$ ") sunt sub pragul limită de vibrații admise.

Din analiza formei tehnologice cât și a structurii chimice/metalografice a carcasei cutiei de viteze automate 7G Tronic efectuată în capitolul 6, se desprind concluzii referitoare la omogenitatea carcasei, dovedind că structura acesteia păstrează aceeași compoziție chimică în toate zonele. Totodată se reliefează caracteristicile materialului la încălziri extreme. Ca și optimizare, se poate îmbunătăți schimbul termic în zonele cu temperaturile cele mai ridicate prin mărirea suprafețelor nervurilor de răcire. Pentru o turnare în condiții de calitate superioară cât și pentru îmbunătățirea rezistenței la coroziune se recomandă posibile modificări ale compoziției chimice ale carcasei cutiei de viteze automate.

Având în vedere evoluția cutiilor de viteze automate (apariția în 2010 a cutiei de viteze automate cu opt trepte de viteză, iar în 2013 a cutiei de viteze automată cu nouă trepte) se poate realiza o reinterpretare a analizei cinematice, a modului de cuplare a roților din componența mecanismului planetar de roți dințate și a elementelor selectorului de intrare în transmisie, pentru realizarea treptelor de viteze noi care se generează.