



UNIVERSITATEA „POLITEHNICA” din BUCUREȘTI

ȘCOALA DOCTORALĂ TRANSPORTURI

TEZĂ DE DOCTORAT

CERCETĂRI PRIVIND INFLUENȚA TRANSMISIEI ASUPRA CONSUMULUI ENERGETIC AL AUTOMOBILULUI

Conducător științific
Prof. em. dr. ing. Gheorghe FRĂȚILĂ

Doctorand
Ing. Cristian-Alexandru RENȚEA

BUCUREȘTI

2021

Rezumat

În vederea reducerii nivelului de emisii de CO₂ privind noile reglementări CAFE, transmisia reprezintă unul din cele mai importante subsisteme ale autoturismelor moderne, fiind chiar un element de comandă pentru motorul cu ardere internă.

În prima parte a lucrării sunt prezentate cerințele impuse transmisiei, diverse soluții de transmisii pentru reducerea consumului energetic și câteva realizări moderne din acest domeniu.

În prezent nu se mai poate concepe dezvoltarea unui produs fără utilizarea simulării. Creșterea puterii de calcul a făcut posibilă dezvoltarea unor modele matematice care descriu fidel fenomenele fizice sau subsistemele studiate astfel încât deciziile de proiectare și optimizare se pot lua în fazele timpurii de proiectare chiar înainte de crearea unor prototipuri funcționale. În lucrare este analizat stadiul actual al modelării și simulării și prezentate programe disponibile pentru realizarea diverselor studii privind performanțele energetice ale automobilelor.

Pentru simularea performanțelor energetice ale sistemelor de propulsie este recomandată folosirea unor modele care permit determinarea consumului de energie în cicluri de deplasare. Din literatura de specialitate se cunoaște că specificațiile ciclurilor de deplasare au o influență majoră asupra performanțelor energetice. Există mai multe cicluri de deplasare, dar în general se preferă utilizarea unor cicluri standardizate pentru a facilita compararea performanțelor. În lucrarea de față se utilizează pentru simulări 5 cicluri de deplasare, diferențiate prin durată și viteză medie: ciclul japonez 10-15, ciclul US 06, ciclul HWFET (Highway Fuel Economy Test Cycle), ciclul NEDC (New European Driving Cycle) și ciclul WLTC (Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Cycle). Pentru a cuantifica variația vitezei automobilului într-un ciclu de deplasare este analizat un parametru specific VSF (Vehicle Speed Fluctuation), care reprezintă raportul dintre deviația standard a vitezei automobilului și viteza medie. De asemenea, este evidențiată distribuția normală a vitezei și frecvența de apariție a diferitelor valori ale vitezei din 10 în 10 km/h pentru ciclurile de deplasare utilizate.

Pentru a compara influența mai multor cicluri de deplasare asupra consumului de combustibil se utilizează parametrul $RC_{cb.}$, definit ca raportul dintre consumul de combustibil obținut la deplasarea în ciclu și consumul de combustibil obținut la deplasarea cu viteză constantă egală cu viteza medie a fiecărui ciclu.

Consumul energetic al automobilului este influențat de mai mulți factori în funcție de tipul sistemului de propulsie: regimul termic al motorului termic și al schimbătorului de viteză, randamentul transmisiei, configurația transmisiei, configurația sistemului de propulsie electric, gradul de hibridizare. Pentru a pune în evidență influența acestor factori sunt realizate mai multe modele specifice sistemelor de propulsie convenționale, electrice și hibride.

Regimul termic are o influență majoră asupra consumului de combustibil atât din perspectiva motorului termic, cât și a schimbătorului de viteză. Pentru a putea realiza acest studiu este nevoie fie de curbe de variație a temperaturilor motorului și schimbătorului de viteză obținute pe cale experimentală pentru aplicația considerată sau una similară la rularea după ciclul studiat, fie de submodele termice care să calculeze temperatura pe baza parametrilor motorului/schimbătorului de viteză și a fluxurilor de căldură. Pentru simulările efectuate în lucrarea de față s-au folosit curbe de temperatură determinate experimental.

Cercetările experimentale au scos în evidență faptul că randamentul transmisiei depinde de un număr însemnat de factori: turația arborelui primar, momentul transmis, treapta schimbătorului de viteză, calitatea lubrifianului, nivelul și temperatura lubrifianului, calitatea execuției și a montajului pieselor componente ale transmisiei, particularitățile constructive și starea tehnică a transmisiei. Pe lângă randamentul transmisiei dependent de treapta utilizată, au fost realizate și simulări pentru randamentul transmisiei variabil cu momentul transmis, turația arborelui primar și temperatura lubrifianului.

Autovehiculele electrice reprezintă o soluție importantă în procesul decarbonizării transportului. Un obstacol pentru cei care doresc să achiziționeze un astfel de autovehicul în reprezintă autonomia limitată. Pentru a înlătura acest dezavantaj accentul a fost pus pe tehnologia bateriilor, electronicii de putere și a mașinilor electrice, transmisia fiind neglijată. Transmisia cu un singur raport de transmitere poate satisface cerințele utilizatorului la deplasarea în oraș, dar nu poate să ofere avantajele autovehiculelor convenționale și a celor hibride.

Pentru îmbunătățirea randamentului sistemului de propulsie și pentru a extinde autonomia unui autovehicul electric, capacitatea bateriei și performanțele motorului electric fiind aceleași se poate utiliza o transmisie cu mai multe trepte în loc de o transmisie cu un singur raport de transmitere.

Transmisia cu mai multe trepte asigură un timp redus de demarare 0-100 km/h, o viteză mai mare a autovehiculului și un consum de energie mai mic, dar în același timp masa transmisiei și costurile de fabricare cresc și randamentul transmisiei scade. Randamentul transmisiei depinde de raportul de transmitere și de numărul de trepte, astfel pe măsură ce numărul de trepte crește, eficiența globală a transmisiei scade, dar motorul funcționează cu un randament mai mare reducând în acest fel consumul de energie. Astfel, este elaborat un model pentru a investiga influența transmisiei cu două trepte care echipează un autovehicul electric asupra consumului de energie comparativ cu transmisia cu o singură treaptă care echipează același autovehicul electric.

Un parametru relativ prin care se poate realiza un studiu comparativ al consumului de energie în diferite cicluri de deplasare este raportul consumului de energie ($RC_{en.}$) definit în prezenta lucrare în mod similar cu raportul consumului de combustibil ($RC_{cb.}$).

Pentru a realiza o comparație dintre consumul energetic obținut pentru un autovehicul convențional și un autovehicul electric s-a determinat consumul de energie echivalent având în vedere puterea calorifică inferioară a motorinei și densitatea acesteia.

O altă arhitectură a sistemului de propulsie electric prezentată în literatura de specialitate constă în utilizarea a două mașini electrice. Pentru o astfel de arhitectură a fost elaborat un model în mediul de simulare LMS AMESim în vederea determinării consumului de

energie. De asemenea, au fost implementate trei strategii de funcționare, determinându-se consumul de energie pentru fiecare. În plus, este realizată și o comparație a consumului de energie obținut cu cel determinat prin simulare pentru autovehiculul electric de referință echipat cu o transmisie cu două trepte.

Autovehiculele hibride înlătură dezavantajul de a utiliza o singură sursă de energie în comparație cu autovehiculele electrice. Față de autovehiculele convenționale echipate cu un motor termic, autovehiculele hibride asigură un consum redus de combustibil și un nivel mai scăzut al emisiilor poluante.

În funcție de modalitatea de interconectare a motoarelor electrice și a motorului termic există două configurații de bază: transmisii hibride paralele și transmisii hibride serie. Indiferent de configurație, elementele componente fundamentale sunt aceleași: motorul termic, mașinile electrice, convertoarele electronice de putere și sistemele electrice de stocare a energiei. Printr-o conectare adecvată a componentelor există posibilitatea realizării unor transmisii hibride capabile să se comporte atât serie, cât și paralel, fie alternativ, fie simultan, denumite transmisii hibride mixte.

O altă clasificare a autovehiculelor hibride prezentată și în această lucrare este în funcție de factorul de hibridizare (FH), care reprezintă raportul dintre puterea mașinii electrice și puterea totală dezvoltată de motorul termic și de mașina electrică.

Pentru a studia influența factorului de hibridizare asupra consumului energetic se realizează mai multe simulări pentru trei valori ale acestuia: 0,22, 0,32 și 0,42. Simulările se realizează considerând că motorul termic, mașina electrică și transmisia funcționează la regim termic nominal. De asemenea, pentru a observa influența hibridizării asupra consumului energetic se determină economia relativă de combustibil considerând un autovehicul echipat doar cu motor termic pentru care se determină consumul de combustibil, ceilalți parametri ai autovehiculului fiind aceiași.

După elaborarea modelelor pentru fiecare sistem de propulsie studiat și rularea acestora, este analizată corelația dintre parametrul de variație a vitezei automobilului într-un ciclu de deplasare (VSF) și raportul consumului de combustibil ($RC_{cb.}$) sau de energie ($RC_{en.}$) pentru diferite configurații ale sistemului de propulsie (convențional, electric, hibrid).

În ultima parte a lucrării pentru a evidenția gradul de încredere ridicat al modelelor realizate se analizează rezultatele obținute pentru consumul de combustibil prin simulare și experimental cu ajutorul standului dinamometric.