



MINISTERUL EDUCAȚIEI
Universitatea Națională de Știință și Tehnologie
POLITEHNICA București
Centrul Universitar Pitești



Școala doctorală “Ingineria Autovehiculelor”

ing. Liviu CĂLIN

REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

**CONTRIBUȚII PRIVIND OPTIMIZAREA PERFORMANȚELOR UNUI
VEHICUL UTILITAR SPORTIV PRIN HIBRIDIZAREA PROPULSIEI**

Conducător științific

Prof.dr.ing. Viorel Nicolae

Pitești 2024

CUPRINS

Capitolul 1. Introducere și motivare.....	4
1.1 Contextul dezvoltării vehiculelor electrificate	4
1.2 Formularea temei.....	5
1.3 Obiectivele tezei.....	7
1.4 Organizarea tezei.....	8
Capitolul 2. Stadiul actual al realizărilor în domeniul sistemelor hibride de propulsie pentru autoturisme.....	11
2.1 Generalități privind sistemele hibride de propulsie	11
2.1.1 Principiul general al propulsiei hibride	11
2.1.2 Clasificarea sistemelor hibride.....	12
2.2 Sisteme hibride de propulsie de tip serie.....	12
2.2.1 Definiția sistemelor hibride de tip serie.....	12
2.2.2 Clasificarea sistemelor hibride de tip serie.....	13
2.3 Sisteme hibride de tip paralel.....	13
2.4 Arhitectura sistemelor hibride de tip serie-paralel.....	16
2.5 Sisteme hibride de propulsie de tip divizat E4WD pentru vehicule cu tracțiune integrală.....	17
2.6 Alegerea arhitecturii sistemului de propulsie pentru modelul funcțional.....	19
Capitolul 3. Studiul dinamic al conceptului hibrid.....	21
3.1 Generalități privind mișcarea longitudinală a unui vehicul	21
3.2 Dinamica autovehiculului în mișcare longitudinală.....	21
3.3 Simularea funcționării conceptului hibrid în mod electric.....	22
3.4 Simularea funcționării conceptului hibrid în mod electric în ciclul NEDC.....	24
3.5 Evaluarea performanțelor de demarare ale conceptului hibrid.....	28
Capitolul 4. Descrierea realizării modelului funcțional GASTER E4WD.....	30
4.1 Prezentarea generală a conceptului GASTER Electricway 4WD	30
4.2 Adaptările noului echipament termic al sistemului hibrid de propulsie	31
4.3 Adaptările echipamentului electric al sistemului hibrid de propulsie	32
4.3.1 Adaptarea punții din spate la sistemul hibrid de propulsie.....	32
4.3.2 Adaptarea suspensiei punții din spate la sistemul hibrid de propulsie.....	33
4.3.3 Adaptarea sistemului de frânare la sistemul hibrid de propulsie.....	34
4.3.4 Adaptarea sistemului de confort termic HVAC la sistemul hibrid de propulsie.....	34
4.3.5 Adaptarea postului de conducere la noul sistem hibrid de propulsie.....	35
4.4 Modurile de funcționare ale conceptului GASTER E4WD PHEV.....	35
4.4.1 Staționarea cu încărcarea bateriei de tracțiune.....	35

4.4.2	Deplasarea la viteze mici în mod electric.....	36
4.4.3	Deplasarea în viteză de croazieră în mod termic.....	36
4.4.4	Deplasarea în viteză de croazieră în mod termic cu recuperarea energiei excedentare pentru reîncărcarea bateriei.....	36
4.4.5	Accelerare intensă pentru obținerea unor performanțe dinamice superioare.....	36
4.4.6	Tracțiune integrală pentru un comportament rutier favorabil pe căi cu aderență scăzută.....	37
4.4.7	Decelerare cu recuperarea energiei și stocarea ei în bateria de tracțiune.....	37
4.4.8	Oprire cu toate puterile motoare nule ca urmare a opririi automate a celor două motoare.....	37
Capitolul 5. Echipamentul termic de propulsie al sistemului hibrid de la conceptul GASTER E4WD.....		38
5.1	Prezentarea generală a echipamentului termic de propulsie al sistemului hibrid.....	38
5.2	Motivarea alegerii arhitecturii echipamentului termic al sistemului hibrid de propulsie	38
5.2.1	Randamentul global în procesul autopropulsării în mod termic.....	38
5.2.2	Analiza funcționării motorului termic cu transmisie cu variație în trepte a raportului de transmitere	40
5.2.3	Analiza funcționării motorului termic cu transmisie cu variație continuă	41
5.3	Arhitectura echipamentului termic al sistemului hibrid de propulsie	42
5.4	Transmisia cu variație continuă a echipamentului termic de propulsie	44
5.4.1	Generalități.....	44
5.4.2	Construcția transmisiei cu variație continuă a grupului motopropulsor termic.....	44
5.4.3	Construcția și funcționarea variatorului transmisiei cu variație continuă a grupului motopropulsor termic	46
5.4.4	Construcția și funcționarea mecanismului reductor inversor al CVT.....	49
Capitolul 6. Echipamentul electric al sistemului hibrid de propulsie		50
6.1	Prezentarea generală a echipamentului electric de propulsie.....	50
6.1.1	Arhitectura echipamentului electric al sistemului hibrid de propulsie.....	50
6.1.2	Componentele sistemului electric de propulsie.....	51
6.2	Grupul motopropulsor electric.....	51
6.2.1	Motorul electric al sistemului electric de propulsie.....	51
6.2.2	Transmisia motorului electric.....	52
6.2.3	Sistemul de control al motorului electric.....	52
6.2.4	Sistemul de răcire al motorului electric și al sistemului de control.....	53
6.3	Bateria de tracțiune a echipamentului electric	53
6.3.1	Generalități.....	53
6.3.2	Caracteristicile unei baterii de tracțiune.....	54
6.3.3	Construcția bateriei de tracțiune.....	54
6.3.4	Sistemul de management al bateriei de tracțiune (Battery Management System).....	55

6.3.5	Înterupătorul de securitate intern cu acționare exterioară (Plug Service).....	55
6.3.6	Releul cu contacte pentru cuplarea bateriei de tracțiune la echipamentului electric de propulsie.....	56
6.3.7	Siguranța circuitului de înaltă tensiune.....	56
6.3.8	Monitorizarea parametrilor de funcționare ai bateriei de tracțiune și motorului electric.....	56
6.4	Sistemele de încărcare ale bateriilor.....	56
6.4.1	Încărcarea bateriei de tracțiune de înaltă tensiune.....	56
6.4.2	Sistemul de încărcare a bateriei auxiliare de 12V.....	57
Capitolul 7. Descrierea aparaturii de cercetare și determinări experimentale.....		58
7.1	Aparatura pentru calibrarea sistemului electric de propulsie	58
7.2	Experimente pentru testarea sistemului hibrid de propulsie.....	59
7.3	Aparatura de încercare și experimentele realizate în poligonul Merișani.....	59
7.3.1	Echipamentul de măsurare și achiziții date Datron CORREVIT L400.....	60
7.3.2	Echipamentul de măsurare și achiziții date VBOX.....	62
Capitolul 8. Concluzii finale și cercetări viitoare.....		64
Bibliografie		69

1. Introducere și motivare

1.1 Contextul dezvoltării vehiculelor electrificate

Încălzirea globală, epuizarea resurselor minerale și poluarea în aglomerațiile urbane și periurbane, constituie probleme care trebuie soluționate în noul secol, impunându-se totodată, noi cerințe prin standarde pentru sistemele de propulsie ale automobilelor.

Se estimează că 94% din emisiile de CO₂ din domeniul transporturilor sunt atribuite sectorului rutier [1].

Noul standard ecologic a impus ca nivelul emisiilor medii de CO₂ pentru toate vehiculele produse de o marca să fie de 95g/km după anul 2020.

Media emisiilor de CO₂ ale autoturismelor noi înmatriculate în UE va trebui să fie cu 15% mai mică în 2025 și cu 35% mai mică în 2030, în comparație cu limitele de emisie valabile în 2021.

Această evoluție a nivelului de emisii impune regândirea strategiei de dezvoltare a noilor sisteme de propulsie care se bazează în special pe electrificare totală, cazul vehiculelor electrice cu baterii (VEB) sau cu pilă cu combustibil (VEPC) sau parțială, cazul vehiculelor electrice hibride (VEH) sau hibride racordabile la rețea VEHR (Plug-in).

În ultimii ani, ca urmare a cererii de piață în Europa, vehiculele utilitare sportive (SUV-urile) au o creștere semnificativă. Ca urmare, această categorie de vehicule, cunoscute ca fiind unele din cele mai poluante, au nevoie de cel mai mare grad de integrare a hibridizării.

Sistemele de propulsie hibride reprezintă o soluție de tranziție pentru trecerea de la propulsia poluantă de tip monomotor cu motor termic, la cea adaptabilă cerințelor actuale.

Estimarea AVL List GmbH privind posibilitatea de diminuare a emisiilor poluante prin diferite arhitecturi de vehicule hibride cu niveluri de electrificare ale vehiculelor, este prezentată în figura 1.1.

Pentru tema tezei de doctorat cu titlul „Contribuții privind optimizarea performanțelor unui Vehicul Utilitar Sportiv (SUV) prin hibridizarea propulsiei”, în urma unui studiu al soluțiilor existente [3], [4] ne-am orientat către soluția de hibrid cu doi arbori, de tip divizat compatibil cu vehiculele de tip SUV (Sport Utility Vehicule) figura (1.1).

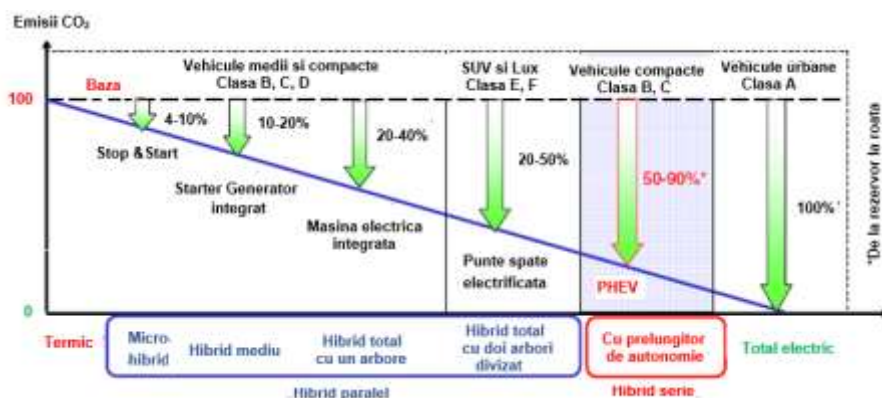


Fig. 1.1 Posibilități de diminuare a emisiilor poluante prin diferite niveluri de electrificare
Adaptare din sursa [2]

Pe lângă rezolvarea cerințelor impuse SUV-urilor legate de reducerea emisiilor care contribuie la încălzirea globală, prin hibridizarea propulsiei realizată prin inserarea unei/unor mașini electrice, este posibilă și îmbunătățirea comportamentului dinamic al vehiculului prin tracțiunea integrală.

În acest context, în cadrul tezei de doctorat obiectivul principal va fi dezvoltarea unui concept hibrid racordabil la rețea (PHEV).

Conceptul numit *GASTER ELECTRICWAY 4WD (E4WD)* a fost realizat într-o arhitectură originală, arhitectura care nu se găsește în fabricația de serie și a fost construit pe baza unei platforme de serie *Dacia-Renault Duster*.

Proiectul *GASTER E4WD* se încadrează în direcția pe care laboratorul *Sisteme Alternative de Propulsie–Vehicule Electrice si Hibride (SAP VEH)* al centrului de cercetare *Ingineria Automobilului (CCIA)* a dezvoltat încă din anul 2002 proiecte bazate pe electrificarea vehiculelor precum : *NovaMatic Hybrid* [5], *Logan Hybrid* [6], *Grand Sandero Hybrid Utility Vehicle* [7], [8], *Electra* [9] *Hamster Electricway 4WD* [10], *Grand Hamster Electricway 4WD* [11], [12] *Duster ZERO* [13], *Sandero ELECTRON* [14].

1.2 Formularea temei

Ca urmare a studiului preliminar realizat [3] pentru a atinge nivelul de maxim 95g CO²/km și pentru a minimiza impactul implementării sistemului asupra vehiculului a fost dezvoltată o soluție de hibridizare de tipul termic–electric racordabil la rețea (PHEV) de tip divizat echipat cu:

- Un grup motopropulsor termic cu grad avansat de depoluare, cu motor cu aprindere prin scânteie și transmisie automată;
- Un grup motopropulsor electric montat la nivelul punții din spate.

Alegerea soluției care a fost dezvoltată în cadrul tezei a fost realizată în urma unei analize preliminare complexe privind: soluțiile existente, posibilitățile de implementare ale unui asemenea sistem pe vehiculul ales și studiul dinamicii conceptului .

Conform teoriei dinamicii automobilului, deplasarea ca rezultat al interacțiunii dintre vehicul și calea de rulare este posibilă datorită echipării sale cu una sau mai multe surse energetice (motor termic, motor electric), care transformă energia primară stocată-energia chimică a combustibilului sau energia electrică-în energie mecanică și o transferă, prin intermediul transmisiei/transmisiilor, roților motoare.

În general sursele de energie (motoarele) sunt acceptabile dacă sunt:

- economice, adică sunt caracterizate printr-un consum minim de combustibil/energie electrică, au un cost de fabricație mic, au costuri de întreținere mici pe o perioadă îndelungată;
- compatibile cu mediul prin nivelul de poluare redus pentru noxe chimice și pentru zgomot și cantitatea minimă de materiale deficitare integrate construcției sale;
- flexibile în utilizare prin adaptabilitate la condiții climatice largi (temperaturi de la -30°C la 50°C), variații de altitudine, regimuri de funcționare etc.

În cazul în care densitatea de putere [W/kg] și cea a energiei stocate [Wh/kg] au valori superioare, mărimea și masa automobilului (care evident trebuie accelerată) sunt minime din punctul de vedere al sistemului/sistemelor motor/motoare-dispozitiv/dispozitive de stocare (rezervor de combustibil sau bateria de tracțiune). (figura 1.2)

Valorile reduse ale acestor două densități determină sporirea puterii/puterilor și a energiei consumate pentru obținerea performanțelor scontate. Timpul de funcționare măsurat în [h] și autonomia măsurată în [km] care caracterizează dispozitivul de stocare a energiei este în funcție de densitatea de energie stocată, puterea necesară și mărimea vehiculului.

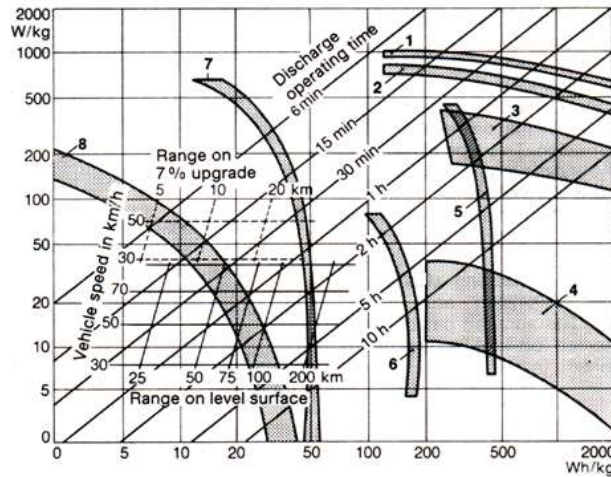


Fig.1.2 Densitatea de putere și densitatea de energie stocată pentru diferite tipuri de surse energetice :1-turbina cu gaze, 2-motorul cu ardere internă, 3-motorul cu ardere externă ;4-motorul electric alimentat cu pila cu hidrogen, 5-motorul electric alimentat cu baterie Litiu; 6-cu baterie Zinc-aer, 7-cu baterie Nichel-cadmiu; 8-cu baterie Plumb-acid 8 [15]

Configurația surselor energetice și dispozitivele de stocare utilizate determină legătura între densitatea de putere - densitatea energiei stocate - timpul de funcționare și alți parametri de propulsie. Poziția favorabilă pe care motorul cu ardere internă o are prin densitatea de putere și densitate de energie primară stocată precum și satisfacerea cerințelor generale de autopropulsare explică largă răspândire în domeniul vehiculelor hibride.

În general, din punct de vedere al tracțiunii, oportunitatea utilizării unui anumit tip de grup motor-transmisie este dată de posibilitatea acestuia de a furniza puterea considerată optimă pentru multitudinea de condiții de deplasare care apar în timpul exploatării.

Pentru aceasta, puterea pe care o dezvoltă motorul ar trebui să fie constantă la toate regimurile de funcționare :

$$P = M \cdot \omega = M \cdot n \frac{\pi}{30} = const. \tag{1.1}$$

Reprezentarea grafică a unuia din parametrii puterii: moment sau forță, în funcție de cel de - al doilea: viteză unghiulară sau viteză de translație, are forma unei hiperbole și poartă denumirea de *hiperbola ideală de tracțiune*.

Având în vedere că soluția aleasă a fost de tip termic-electric, este necesară analiza caracteristicilor de propulsie pentru motorul termic și motorul electric (figura 1.3).

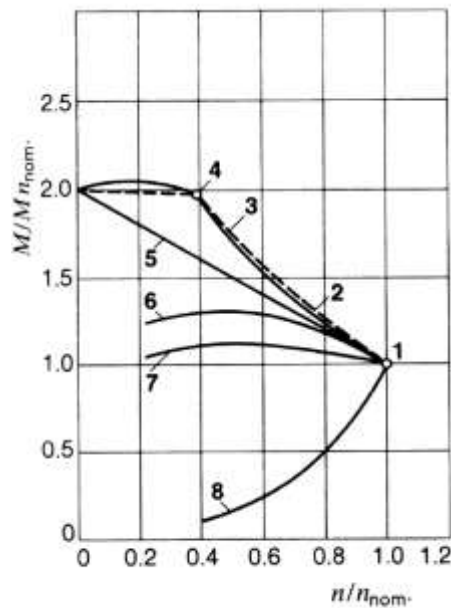


Fig.1.3 Caracteristicile de propulsie pentru diferite tipuri de surse energetice :1-punct de referință regim nominal; 2-motor cu aburi ; 3-motor electric ; 4-limita pentru presiunea/curentul maxim ; 5-turbină cu gaze cu doi arbori ;6-motor cu aprindere prin scânteie ; 7-motor cu aprindere prin comprimare; 8-turbină cu gaze cu un arbore [15]

Deoarece curba caracteristicii de propulsie la motorul cu ardere internă cu aprindere prin scânteie (curba 6) este departe de hiperbola ideală, transmisia dispusă între motorul termic și roțile motoare, trebuie să ofere pe lângă funcția de transfer și funcția de transformare (convertire) a acesteia cu raport de transmitere variabil.

Una din cele mai evoluate soluții de transmisie care combină confortul cu performanțele, este transmisia cu variație continuă (CVT). Din acest motiv, ea a fost aleasă pentru grupul motopropulsor termic al conceptului.

Deoarece curba caracteristicii de propulsie la motorul electric (curba 3) este apropiată de hiperbola ideală, transmisia dispusă între motorul electric și roțile motoare oferă pe lângă funcția de transfer și funcția de transformare (convertire) a acesteia cu raport constant.

1.3 Obiectivele tezei

- Evaluarea posibilităților de reducere a emisiilor poluante în procesul autopropulsării prin intermediul unui sistem de propulsie hibrid racordabil la rețea Plug-in (PHEV);
- Reducerea emisiilor poluante ale motorului termic alimentat cu Gaz Natural Comprimat și cuplat cu o Transmisie cu Variație Continuă (CVT);
- Realizarea tracțiunii integrale de tip nepermanent printr-un sistem electric de propulsie montat pe puntea din spate într-o manieră originală;

- Studiul stadiului actual al cercetărilor și realizărilor în domeniul sistemelor hibride de propulsie destinate autoturismelor;
- Elaborarea unui model virtual al autoturismului echipat cu sistem hibrid de propulsie pentru evaluarea performanțelor prin simularea funcționării în condiții standard;
- Studiul adaptării sistemului hibrid la cerințele autoturismului;
- Realizarea unui model funcțional de autoturism Dacia Duster echipat cu un sistem hibrid de propulsie: proiectarea și realizarea reperelor specifice, asamblarea și întocmirea documentației de diagnostic absolut necesare verificărilor înaintea încercării;
- Crearea unei baze de cercetare experimentală destinată încercării autoturismului echipat cu sistem hibrid de propulsie și întocmirea unei metodologii de încercare specifică acestui tip constructiv;
- Determinarea experimentală a parametrilor de funcționare ai sistemului hibrid de propulsie pentru calibrarea modelului virtual în vederea simulării precum și a performanțelor modelului funcțional;
- Stabilirea direcțiilor prioritare ce vor permite continuarea studiului în vederea optimizării sistemului hibrid de propulsie.

1.4. Organizarea tezei

Lucrarea este structurată în șase părți (figura 1.4) care cuprind:

Partea I Formularea problemei și demonstrarea oportunității alegerii temei;

Partea a II-a Studiul soluțiilor similare de sisteme hibride și alegerea arhitecturii pentru concept;

Partea a III-a Simularea pe un model virtual a funcționării conceptului în mod electric pur;

Partea a IV-a Descrierea modelului funcțional de vehicul hibrid, a echipamentului termic și a echipamentului electric.

Partea a V-a Evaluarea modelului funcțional prin cercetări experimentale în mod termic.

Partea a VI-a Concluzii finale și cercetări viitoare.

Capitolele sunt organizate după cum urmează:

Capitolul 1 Introducere și motivare - conține aspecte legate de contextul dezvoltării vehiculelor electrificate. În continuare este realizată formularea temei și oportunitatea alegerii unui sistem hibrid de propulsie în vederea reducerii emisiilor poluante și realizarea tracțiunii integrale de tip nepermanent. Această soluție este realizată în concordanță cu autoturismul de tip SUV ce constituie obiectul aplicației. Finalul capitolului prezintă obiectivele tezei, modul de organizare a lucrării și concluzii preliminare.

Capitolul 2 Stadiul actual al realizărilor în domeniul sistemelor hibride de propulsie pentru autoturisme - conține generalități privind sistemele hibride de propulsie anume, principiul general al propulsiei hibride și clasificarea sistemelor hibride. În continuare sunt prezentate arhitecturile de astfel de sisteme: hibridul serie, hibridul paralel, hibridul serie - paralel și versiuni de sisteme hibride de propulsie de tip divizat E4WD destinate unor vehicule cu tracțiune integrală pe cale electrică. În urma acestui studiu este aleasă soluția de sistem de propulsie pentru modelul funcțional.

Capitolul 3 Studiul dinamic al conceptului hibrid - conține aspecte generale privind mișcarea longitudinală a unui vehicul și studiul dinamicii autovehiculului aflat în mișcare longitudinală. În continuare este realizată simularea funcționării conceptului hibrid în mod electric pentru analizarea performanțelor autovehiculului hibrid la parcurgerea ciclului NEDC (New European Driving Cycle). În finalul capitolului este realizată o evaluare a performanțelor de demarare ale conceptului hibrid pentru evaluarea vitezei maxime de deplasare, a spațiului de demarare, a accelerației autovehiculului precum și curentul debitat în timpul demarajului și starea de încărcare a bateriei.

Capitolul 4 Descrierea realizării modelului funcțional GASTER E4WD - conține prezentarea generală a conceptului GASTER E 4WD pentru care a fost utilizat un vehicul *Dacia Duster* 4X2 și modul de organizare a sistemului de propulsie hibrid de tip Plug-in (PHEV). El este prevăzut cu un grup motopropulsor termic în partea din față cu motor termic alimentat cu Gaz Natural Comprimat/benzină și un grup motopropulsor electric în partea din spate. În continuare sunt prezentate adaptările noului echipament termic al sistemului hibrid de propulsie și integrarea echipamentului electric de propulsie. În finalul capitolului sunt prezentate modurile posibile de funcționare ale conceptului.

Capitolul 5 Echipamentul termic de propulsie al sistemului hibrid de la conceptul GASTER E4WD - conține prezentarea generală a echipamentului termic de propulsie al sistemului hibrid și motivarea alegerii arhitecturii echipamentului termic cu motor termic alimentat GNC asistat de o transmisie cu variație continuă (CVT). Este prezentat motorul termic și sistemul de alimentare cu GNC. De asemenea este prezentată construcția și modul de funcționare a transmisiei cu variație continuă (CVT).

Capitolul 6 Echipamentul electric al sistemului hibrid de propulsie - conține prezentarea generală a echipamentului electric de propulsie al sistemului hibrid, arhitectura sa și principalele componente. În continuare este prezentat grupul motopropulsor format din motorul electric, transmisia sa și invertor-controlerul. De asemenea este prezentată construcția bateriei de tracțiune, sistemul de management al acesteia (Battery Management System), întrerupătorul de securitate intern cu acționare exterioară (Plug Service), siguranța fuzibilă pentru circuitul de înaltă tensiune și releul cu contacte ce permite cuplarea la componentele electrice ale grupului motopropulsor. În finalul capitolului sunt prezentate sistemele de încărcare pentru bateria de tracțiune și pentru bateria auxiliară de 12 V.

Capitolul 7. Descrierea aparaturii de cercetare și determinări experimentale - prezintă echipamentele utilizate pentru calibrarea echipamentului electric și pentru evaluarea performanțelor în mod termic în poligonul de încercări ale Registrului Auto Roman în diverse teste standard.

Capitolul 8. Concluzii finale și cercetări viitoare

Bibliografie

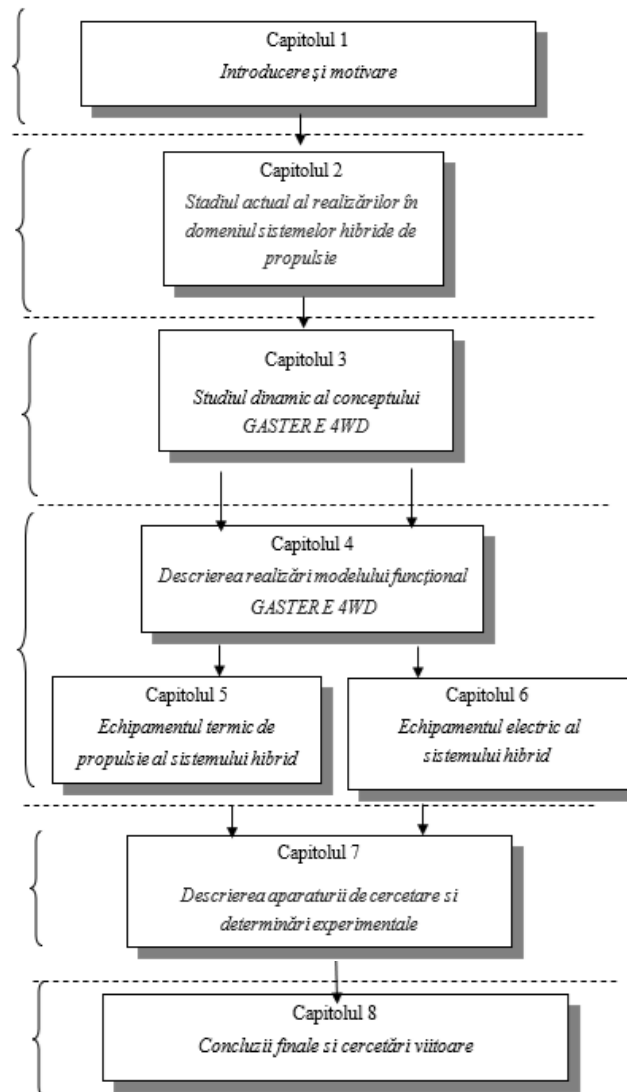


Fig. 1.4 Organizarea tezei

2. Stadiul actual al realizărilor în domeniul sistemelor hibride de propulsie pentru autoturisme

2.1 Generalități privind sistemele hibride de propulsie

2.1.1 Principiul general al propulsiei hibride

Sistemele hibride de propulsie ale vehiculelor rutiere sunt sisteme la care energia pentru autopropulsare este furnizată de cel puțin două surse energetice îmbarcate, constituite din elemente de stocare (rezervoare, acumulate) și convertizoare (motoare, transmisii), surse bazate pe principii diferite de generare a energiei [16] [17]. Dintre acestea, cel puțin una dintre surse este reversibilă. Legătura surselor de energie cu roțile motoare se face prin unul sau mai multe cuplaje.

Schema de principiu după care este organizat un sistem de propulsie hibrid este prezentată în figura 2.1 [19] [20].

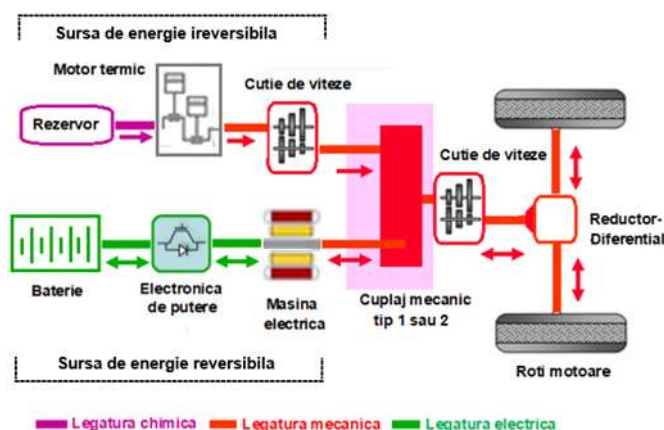


Fig. 2.1 Schema de principiu a unui sistem electric hibrid de propulsie

Cele mai utilizate sisteme hibride în cazul vehiculelor de persoane, sunt de tipul termic-electric.

După cum se poate constata din figura 2.1 principalele componente ale unui sistem hibrid de propulsie termic-electric sunt următoarele:

- *Transformatorul de energie ireversibilă*, integrat sursei de energie ireversibile (neregenerabile). Această componentă este de regulă un motor termic cu ardere internă.
- *Sistemul de stocare a energiei reversibile* (regenerabile). El este numit baterie de tracțiune și este de regulă un acumulator electrochimic sau un acumulator electrostatic. În anumite situații, acumulatorul poate fi reîncărcat de la o sursă externă stație de încărcare sau o pilă cu combustibil cu hidrogen (Hydrogen Fuel cell) amplasată la bord.
- *Sistemul de cuplare* care este realizat de regulă ca sistem reversibil și care asigură legătura între celelalte două principale componente amintite și roțile motoare ale vehiculului.

2.1.2 Clasificarea sistemelor hibride

Clasificarea sistemelor hibride poate fi realizată după mai multe criterii.

În funcție de modul de cuplare a surselor de energie (figura 2.2) sistemele hibride se clasifică în : sisteme hibrid serie; sisteme hibrid paralel; sisteme hibrid serie-paralel; sisteme hibrid cu derivație de putere, sisteme hibrid full hybrid.

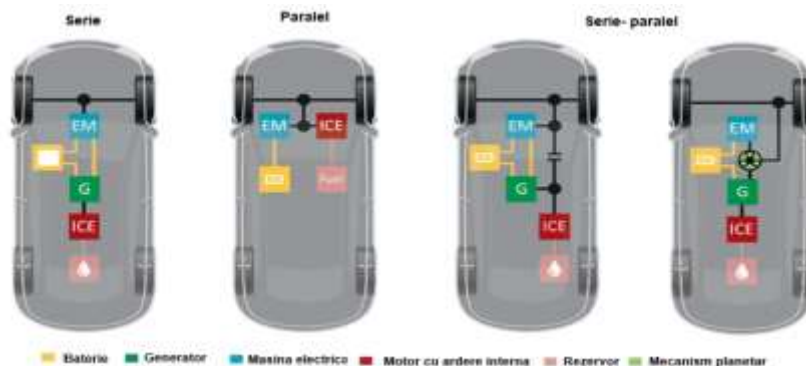


Fig.2.2 Clasificarea sistemelor hibride de propulsie după modul de cuplare a surselor de energie. Adaptare după sursa [18]

După modul de reîncărcare a bateriei de tracțiune sistemele hibride se clasifică în : sistem hibrid autarhic (clasic) HEV, cu încărcarea bateriei de tracțiune de la generatorul antrenat de motorul termic; sistem hibrid PHEV (Plug-in hybrid Electric Vehicle) cu încărcarea bateriei de tracțiune de la generatorul antrenat de motorul termic dar și de la rețeaua electrică prin încărcătorul îmbarcat;

2.2 Sisteme hibride de propulsie de tip serie

2.2.1 Definiția sistemelor hibride de tip serie

În cazul arhitecturii *hibridului serie* între motorul termic și roțile motoare ale automobilului nu există legătură mecanică directă, cuplarea între cele două surse făcându-se numai pe cale electrică (figura 2.3) [18][19].

Sistemul de cuplare al hibridului serie este constituit din:

- un generator electric cu electronica sa de putere;
- o baterie de tracțiune;
- o mașină electrică reversibilă cu electronica sa de putere; ea asigură propulsia în regim de motor și recuperarea energiei de frânare în regim de generator;
- o rețea electrică ce leagă cele două mașini electrice de sistemul de stocare (bateria de tracțiune).

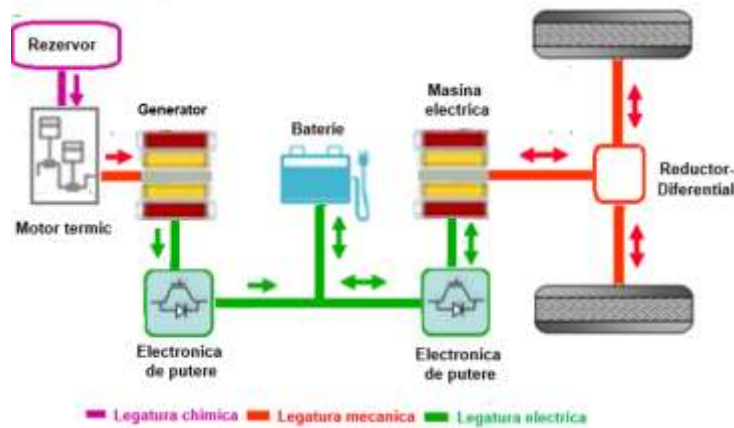


Fig. 2.3 Schema de principiu a unui sistem electric hibrid de propulsie de tip serie, cu configurație termică-electrică cu stocare de energie electrică în baterie de acumuloare electrochimice sau electrostatice

2.2.2 Clasificarea sistemelor hibride de tip serie

- După capacitatea de a stoca energia electrică la bord:
 - hibrid serie cu acumulare de energie (ex baterie de tracțiune, volant de inerție, acumulator hidropneumatic etc);
 - hibrid serie fără acumulare de energie;
- După modul de stocare a energiei:
 - cu stocare de electricitate: acumuloare electrochimice (baterii), acumuloare electrostatice (super condensatoare), acumuloare combinate (baterii+super condensatoare);
 - După gradul de intervenție a sursei ireversibile (motor termic cu ardere internă, turbina cu gaze, pila cu combustibil):
 - hibrid serie la care energia produsă de sursa ireversibilă (motorul termic, pila cu combustibil) acoperă integral necesarul de energie pentru autopropulsare;
 - hibrid serie la care energia produsă de sursa ireversibilă (motorul termic, pila cu combustibil) acoperă parțial necesarul de energie pentru autopropulsare și este destinată în special prelungirii autonomiei (Range Extender);
 - După tipul generatorului de energie electrică:
 - cu generator antrenat cu motor termic cu ardere internă (moto generator);
 - cu generator antrenat cu turbină cu gaze (turbogenerator);
 - cu pilă cu combustibil.

2.3. Sisteme hibride de tip paralel

În cazul arhitecturii hibridului paralel, sistemul de cuplare asigură transferul de putere între motorul termic, motorul electric și roțile motoare ale vehiculului prin legături mecanice. Din acest motiv energia electrică reversibilă schimbată cu bateria de tracțiune trebuie convertită în energie mecanică; ca urmare, sistemul de cuplare va fi constituit dintr-o mașină electrică reversibilă motor/generator ce asigură conversia de energie de la/spre baterie și un ansamblu mecanic ce leagă cele două lanțuri de propulsie la roțile motoare ale vehiculului.

Legătura mecanică între motorul termic și ansamblul reductor-diferențial va putea fi

realizată direct sau prin intermediul unei cutii de viteze amplasată după una din pozițiile indicate în figura 2.8 [19] [20].

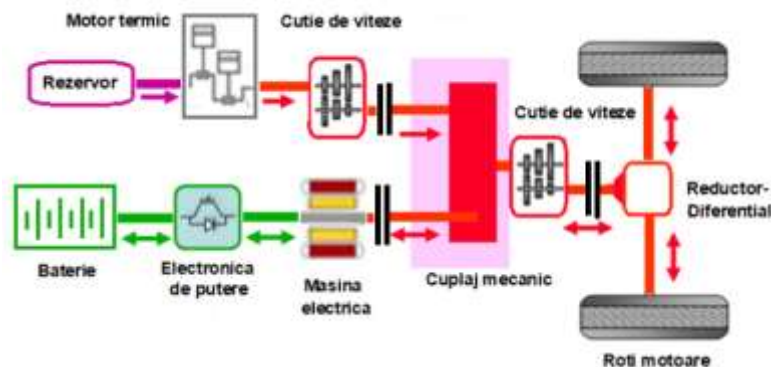


Fig. 2.8 Schema de principiu a sistemului hibrid paralel cu configurație termică-electrică

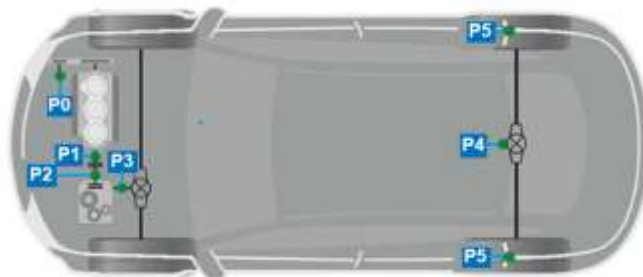
Principalul avantaj al arhitecturii de tip paralel îl constituie faptul că între motorul termic și roțile motoare legătura este de tip mecanic, cu un randament energetic foarte bun. Pe de altă parte față de arhitectura de tip serie, controlul funcționării motorului termic în vederea limitării emisiilor poluante este mai simplu, iar mașinile electrice vor fi mai reduse ca putere, cu avantaje în ceea ce privește prețul, masa și gabaritul acestora.

Cuplarea lanțurilor electric și termic poate fi asigurată prin realizarea unei suplimentări (adiții) de momente sau de turații la cei doi arbori de intrare.

Clasificarea sistemelor hibride de tip paralel se poate face:

- După poziția mașinii electrice: P1, P2, P3, P4, P5 (figura 2.9);
- După gradul de hibridizare (mărimea mașinii electrice și funcțiunile disponibile): Stop&Start, Hibrid ușor (Mild Hybrid), Hibrid total (Full Hybrid) (figura 2.15);
- După modul de încărcare a bateriei de tracțiune: hibrid autarhic, hibrid reîncărcabil de la rețea (PHEV);
- După numărul de arbori: cu un arbore, la care turația motoarelor este constantă; cu doi arbori, la care turația motoarelor este diferită;
- După contribuție: cu adăuție de cuplu (moment), cu adăuție de turație.

După poziția mașinii electrice în raport cu celelalte componente ale sistemului de propulsie, sistemele hibride paralele pot avea șase arhitecturi (figura 2.9) [25]:



**Fig. 2.9 Poziția de instalare a mașinii electrice la vehicule hibride de tip paralel.
Adaptare de la sursa [25]**

În cazul arhitecturii P0 mașina electrică este conectată cu motorul cu ardere internă printr-o curea situată în partea frontală ce antrenează și alte accesorii (tabelul 2.1).

În cazul arhitecturii P1 mașina electrică este conectată direct pe arborele cotit al motorului cu ardere internă.

În cazul arhitecturii P2 mașina electrică este poziționată între motorul termic și cutia de viteze, fiind separată de acestea prin ambreiaje. Ea poate antrena arborele primar al cutiei de viteze printr-o curea (amplasare transversală) sau direct în cazul în care este integrată.

Versiunile P0, P1 și P2 sunt considerate hibride paralele cu un arbore la care turația motoarelor este constantă:

- proporțională, în cazul în care mașina electrică este amplasată lateral;
- egală, cazul în care mașina electrică este integrată.

În cazul arhitecturii:

- P3 mașina electrică este cuplată la arborele de ieșire din cutia de viteze;
- P4 mașina electrică este montată pe puntea motoare spate în amonte de diferențial.
- P5 mașinile electrice sunt montate de regula în roțile din spate.

Versiunile P3, P4 și P5 sunt considerate hibride paralele cu doi arbori la care turația motoarelor este variabilă.

Tabelul 2.1 Localizarea mașinii/mașinilor electrice la sisteme hibride de tip paralel

Localizarea mașinii electrice		
P0	Fata accesorii	Electrificarea motorului
P1	Arbore cotit zona volant	
P2	Arbore primar cutie de viteze	
P3	Arbore secundar	Electrificarea transmisiei
P4	Punte spate, partea centrala	
P5	Punte spate, zona rotilor	

După gradul de hibridizare, mărimea mașinii electrice și funcțiile disponibile, sistemele hibride paralele pot avea trei variante: Micro-hibrid (Stop&Start), Hibrid ușor (Mild Hybrid), Hibrid total (Full Hybrid), Hibrid racordabil la rețea (Plug-in Hybrid) (figura 2.10) [27].

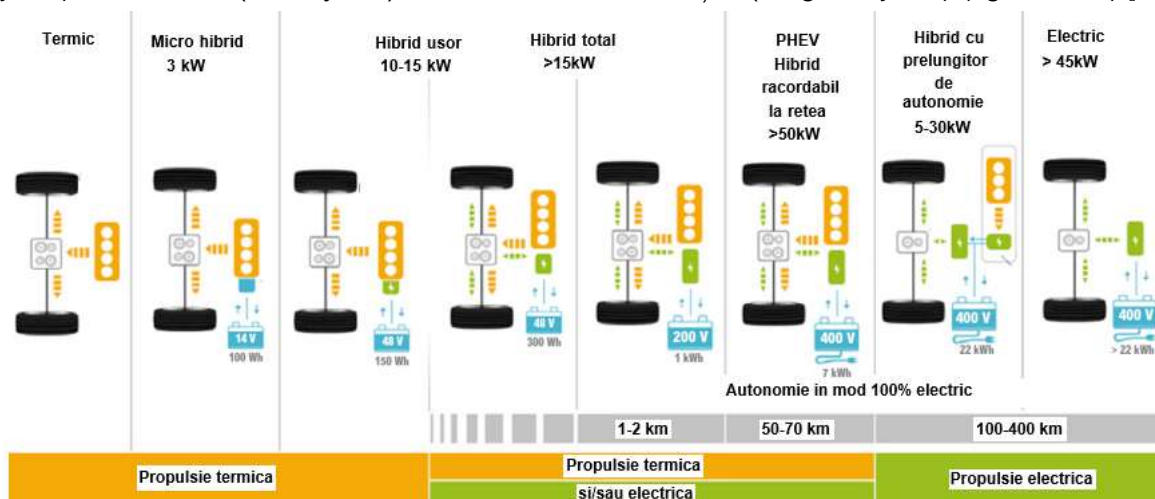


Fig. 2.10 Sisteme de propulsie de tip paralel cu diferite niveluri de hibridizare și funcțiuni disponibile Adaptare de la sursa [27]

Funcțiunile disponibile pentru sisteme hibride cu diverse grade de hibridizare sunt prezentate în tabelul 2.2.

Tabelul 2.2 . Funcțiunile disponibile pentru sistemele hibride cu diverse grade de hibridizare

Funcțiuni	Micro Hibrid	Hibrid Usor (MHEV)	Hibrid Total (HEV)	Hibrid racordabil la rețea (PHEV)	Hibrid cu prelungitor de autonomie (EVRE)	Vehicul Electric (EV)
Start-Stop	●	●				
Assist		○	●	●	●	
Franare regenerativă		○	●	●	●	●
Mod electric pur			○	●	●	●
Racordare la rețea				●	●	●
Tensiune (V)	12	> 48	200-300	>300	>300	>300
Putere (kW)	3	10-15	>15	>50	5-30	>45
Îmbunătățire randament (%)	2-4	8-11	20-35	50-60	>60	>90

2.4 Arhitectura sistemelor hibride de tip serie-paralel

Hibridul mixt, serie–paralel, cunoscut și sub denumirea „dual mode” sau „cu derivație de putere” permite funcționarea în cele două configurații, serie și paralel. Această soluție combină avantajele arhitecturii serie cu cele ale arhitecturii paralel, având din acest motiv cea mai complicată configurație.

Aceasta include de regulă un motor cu ardere internă conectat la o mașină electrică cu rol principal de generator și o mașină electrică cu rol principal de motor electric, cuplate la roțile motoare, prin intermediul unui sistem mecanic de cuplare a angrenajelor de roți dințate.

Sistemul are o dublă conectare între motorul termic și motorul electric cuplat mecanic la puntea motoare: mecanică și electrică.

Schema generală a sistemului hibrid de propulsie de tip serie-paralel (cu derivație de putere) este prezentată în figura 2.20 [19] [20].

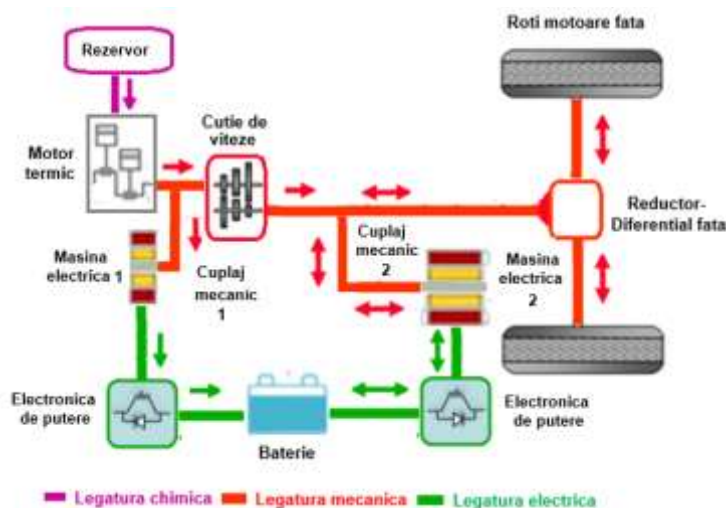


Fig. 2.20 Schema generală a sistemului hibrid de propulsie de tip serie-paralel

2.5 Sisteme hibride de propulsie de tip divizat E4WD pentru vehicule cu tracțiune integrală

În cazul vehiculelor hibride cu tracțiune integrală și sistem de propulsie divizat, motorul termic antrenează una din punți, de regulă puntea din față, iar mașina electrică principală ce poate asigura autopropulsarea antrenează cealaltă punte, de regulă puntea din spate.

Grupul motopropulsor cu motor termic poate fi de tip:

- hibrid serie;
- hibrid paralel, cu mașina electrică amplasată în poziția P0, P1, P2 sau P3;
- hibrid serie-paralel, dacă pe lângă mașina electrică principală (MG1) amplasată în poziția P2 sau P3 se mai utilizează o a II-a mașină electrică secundară (MG2) poziționată conform P0, P1.

Grupul motopropulsor electric amplasat în spate, este similar soluției existente la sistemele P4 sau P5 cu mașina electrică montată la nivelul punții din spate, fără legătură mecanică cu puntea din față (soluția TTR).

Principalele combinații de sisteme hibride cu tracțiune integrală și grup motopropulsor divizat sunt prezentate în figura 2.25 [19] [20].



Fig. 2.25 Variante de arhitecturi hibride pentru tractiune integrala cu punte spate electrificata tip P4 sau P5

Arhitectura de bază a sistemului hibrid de propulsie de tip paralel divizat este prezentată în figura 2.26 [19] [20].

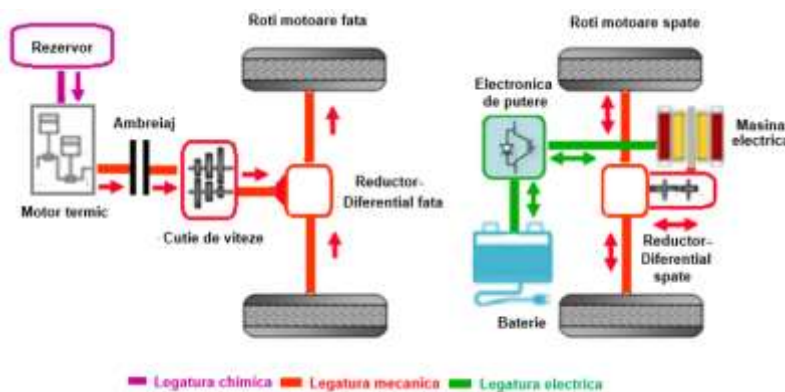


Fig. 2.26 Arhitectura sistemului hibrid de propulsie de tip paralel cu sistem divizat, cu punte spate electrificată

Această soluție este superioară arhitecturilor de tip paralel P0, P1, P2 din punct de vedere al randamentului fluxului de energie având ca avantaje principale:

- potențial mare de recuperare a energiei;
- posibilitatea funcționării în mod electric, dacă mașina electrică dispune de un moment motor de valoare suficientă;
- asigurarea tracțiunii integrale la funcționarea în mod hibrid.

Datorită poziției mașinii electrice, fără legătură mecanică permanentă cu motorul termic, pentru a putea beneficia de funcția Stop & Start, trebuie utilizată o a doua mașină electrică de tip demaror ranforsat, alimentat la 12 V .

Un exemplu bazat pe aceasta arhitectură este sistemul *Electricway 4WD* dezvoltat la Centrul de cercetare *Ingineria Automobilului* și aplicat pe un vehicul *Dacia DUSTER* în anul 2011 este prezentat în figura 2.27 [11] [12] și aplicat pe conceptul *GRAND HAMSTER Electricway 4WD*.

Soluția *Electricway 4WD* aplicată pe *Dacia DUSTER*, a fost dezvoltată pe baza experienței căpătate în cadrul proiectelor *Nova Ecomatic Hybrid* [5], *Electra* [9], *Grand Sandero Hybrid Utility Vehicle* [7] și *Hamster Electricway 4WD* [10]. Vehiculul hibrid era echipat cu un motor diesel K9K cu 4 cilindri 1,5 litri, 79 kW dCi (107 CP) și o transmisie manuală cu 5 trepte.



Fig. 2.27 Conceptul „GRAND HAMSTER Electricway 4WD”, vehicul hibrid racordabil la rețea (Plug-in) realizat la Centrul de cercetare „Ingineria Automobilului” în anul 2011 [11] [12]

Pentru acest proiect a fost creată o versiune originală a punții spate, cu traversă torsionată (figura 2.28) [11] [12]. În vederea obținerii tracțiunii integrale a fost construit un grup motopropulsor ce include o mașină electrică (motor-generator) de tip asincron, răcită cu lichid de 18 kW, un reductor, un diferențial și doi arbori planetari (figura 2.30).



Fig. 2.28 Puntea din spate și grupul motopropulsor al conceptului „GRAND HAMSTER Electricway 4WD” [11] [12]



Fig. 2.30 Conceptul „GRAND HAMSTER Electricway 4WD” testat în poligonul de încercare Dacia (pe atunci) de la Merișani Argeș [11] [12]

2.6 Alegerea arhitecturii sistemului de propulsie pentru modelul funcțional

Ca urmare a studiului arhitecturilor de vehicule hibride dezvoltate în ultimii ani, în concordanță cu tema tezei de doctorat stabilită și proiectul pentru a atinge obiectivele propuse, este vizată dezvoltarea unei soluții de hibridizare de tipul paralel, racordabil la rețea (PHEV), cu tracțiune integrală pe cale electrică.

Obiectivele specifice prevăzute în cadrul proiectului de cercetare prezentat la începutul stagiului doctoral [3], pe baza cărora s-au stabilit criteriile pentru alegerea arhitecturii sunt următoarele:

- Emisii de CO₂: max. 95 g CO₂/km;
- Minimizarea impactului implementării asupra vehiculului de serie ales, anume *Dacia Duster*;
- Utilizarea unor componente disponibile completate de achiziții ce se încadrează în bugetul existent alocat; ;

- Utilizarea bazei materiale existente în laboratorul *Sisteme alternative de propulsie-vehicule electrice și hibride* din cadrul centrului de cercetare *Ingineria Automobilului* al Centrului Universitar Pitești.

- Valorificarea experienței echipei de cercetare în domeniu și dezvoltarea acestei experiențe, în special a doctorandului;

- Îmbogățirea curriculei universitare cu noi studii și cercetări.

În urma analizei soluțiilor similare, arhitectura de bază aleasă pentru acest vehicul este de tip P4. Soluția de organizare generală a vehiculului este prezentată în figura 4.2.

Conceptul de sistem hibrid de propulsie numit *SEPIA (Sistem Electric de Propulsie pentru tracțiune Integrală a Automobilelor)* va avea :

- Un grup motopropulsor termic cu grad avansat de depoluare, cu motor cu aprindere prin scânteie și transmisie automată;

- Un grup motopropulsor electric montat la nivelul punții din spate.

Componentele puse la dispoziție de către *Renault Technologie Roumanie* și combinația posibilă pentru un grup motopropulsor față al sistemului hibrid experimental, sunt organizate după schema din figura 4.2:

- Un motor termic Renault H4M cu 4 cilindri (1), 1,6 litri alimentat cu GNC printr-o instalație de injecții secvențială (8,9) din ansamblul de butelii (7);

- O transmisie cu variație continuă *CVT X-Tronic* (3,4,5).

Componentele disponibile pentru grupul motopropulsor electric montat în spate pentru acest sistem hibrid sunt:

- Un motor electric asincron cu o putere maximă de 32 kW (11), cuplat la reductorul diferențial (12);

- O punte spate motoare inovativă, cu traversă torsionată dezvoltată în premieră la centrul de cercetare *Ingineria Automobilului*;

3. Studiul dinamic al conceptului hibrid

3.1 Generalități privind mișcarea longitudinală a unui vehicul

Definirea condițiilor de autopropulsare se referă la precizarea cauzelor fizice pentru forțele de rezistență ce acționează asupra autovehiculului, a factorilor specifici de influență și stabilește relațiile analitice de evaluare cantitativă a acestor forțe [45], [46].

În procesul autopropulsării autovehiculului, asupra acestuia acționează, după direcția vitezei de deplasare, două tipuri de forțe:

- forțele active, care au același sens cu cel al vitezei de deplasare;
- forțele de rezistență, care sunt de sens opus sensului vitezei de deplasare.

Forțele de rezistență, cunoscute sub denumirea de rezistențe la înaintare sunt următoarele:

- rezistența la rulare, care este o forță ce se opune înaintării autovehiculului și este determinată de fenomenele ce se produc la rularea roților pe calea de rulare;
- rezistența aerului, care este o forță ce se opune înaintării autovehiculului și este datorată interacțiunii dintre automobilul în mișcare și aer;
- rezistență pantei, care este o forță datorată înclinării longitudinale a drumului și reprezintă o forță de rezistență la urcarea pantelor și o forță activă la coborârea pantelor;
- rezistența la demaraj, care este o forță datorată inerției autovehiculului în mișcare și reprezintă o forță de rezistență în timpul mișcării accelerate și o forță activă în regimul mișcării decelerate.

Mișcarea autovehiculului, consecință a acțiunii asupra lui a forțelor active și de rezistență poate fi:

- mișcare uniformă, când vehiculul rulează cu viteză constantă;
- mișcare accelerată, când viteza vehiculului crește, regim numit "regimul demarării";
- mișcare decelerată când viteza vehiculului scade; acest regim poate fi realizat prin rulare liberă, când regimul decelerat este datorat încetării acțiunii forței de tracțiune și prin frânare, când regimul decelerat este datorat acțiunii forței de frânare dezvoltate la roțile automobilului sau prin funcționarea motorului electric ca generator.

Autopropulsarea autovehiculului se datorează energiei mecanice primite de roțile motoare de la motoarele vehiculului hibrid și este posibilă când această energie este în concordanță cu necesarul de momente și puteri pentru învingerea rezistențelor la înaintare. De aici rezultă ca deosebit de importantă în definirea condițiilor de autopropulsare cunoașterea, pentru fiecare din rezistențele la înaintare, a cauzelor fizice care le generează, a principalelor mărimi, a factorilor de influență și a posibilităților de evaluare analitică [46].

3.2 Dinamica autovehiculului în mișcare longitudinală

Procesul de simulare a vehiculului începe cu definirea dinamicii de bază. Ciclul de rulare definește un scenariu de conducere care consideră vehiculul în mișcare longitudinală.

Astfel, dinamica vehiculului este simplificată substanțial. Următoarea formulă reprezintă ecuația mișcării în direcția longitudinală:

$$F_R = R_r + R_a + R_p + \frac{G_a}{g} \cdot \delta \cdot a \quad (3.1)$$

Termenii ecuației (3.1) [47] sunt: F_R forța longitudinală la roată; R_r rezistența la rulare; R_a rezistența aerodinamică; R_p rezistența la pantă; G_a greutatea vehiculului; g accelerația gravitațională; δ coeficientul ce influențează masele în mișcare de rotație asupra efectului de translație al forței de inerție; a accelerația autovehiculului.

Se consideră că forța de tracțiune [47] este forța rezultată la roți. În acest caz, este necesară o forță minim egală cu rezistențele la înaintare pentru a produce deplasarea longitudinală a vehiculului.

Cu înlocuirile legate de relațiile rezistențelor la înaintare relația (3.1) poate fi scrisă ca mai jos:

$$F_{R,X} = f_r \cdot G_a + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_D \cdot A_f \cdot v^2 + p_{\%} \cdot G_a + \frac{G_a}{g} \cdot \delta \cdot \frac{dv}{dt} \quad (3.8)$$

Pentru a reflecta performanța vehiculului, următoarea exprimare este preferată:

$$G - p_{\%} = \frac{\delta}{g} \cdot \frac{dv}{dt} \quad (3.9)$$

și include măsurarea unghiului maxim al unei pante pe care o poate urca vehiculul (G):

$$G = \frac{F_R - R_a - R_r}{G_a} \quad (3.10)$$

3.3 Simularea funcționării conceptului hibrid în mod electric

Conceptul *MASTER Electricway 4WD* este echipat cu un sistem electric format din bateria de tracțiune pentru stocarea energiei electrice capabilă să înmagazineze energia, mașina electrică care funcționează în regim de motor sau generator; sistemul de management electronic.

Cunoscându-se tensiunea nominală de lucru $205 V$ a instalației electrice a mașinii pentru tracțiune V_{nom} , și capacitatea unei celule $C_{nom} 100 [Ah]$ se calculează capacitatea energetică a bateriei E_{nom} :

$$E_{nom} = C_{nom} \cdot V_{nom} = 20 kWh \quad (3.11)$$

Intensitatea curentului maxim de descărcare este de $200 [A]$.

Starea de încărcare a bateriei este definită prin intermediul a trei parametri utilizați în modelul de simulare:

- SoC_{min} care definește energia minimă disponibilă în baterie;
- SoC_{max} care definește energia maximă disponibilă în baterie;
- SoC_{ref} care definește valoare de referință care trebuie să fie disponibilă în baterie.

Motorul electric care furnizează pentru procesul de autopropulsare o putere P_{me} :

$$P_{me} = M_{me} \cdot \frac{v_i}{r_r} \quad (3.12)$$

Pentru intervalul de parcurs $s_{i-1,i}$ se calculează timpul necesar :

$$t_{i-1,i} = \frac{s_{i-1,i}}{0.5 \cdot (v_{i-1} + v_i)} \quad (3.13)$$

Se calculează curentul debitat în intervalul de timp:

$$I_{i-1,i} = \frac{P_{me}}{V_{nom}} \quad (3.14)$$

Se determină starea de încărcare a bateriei:

$$SoC_{i-1,i} = \left(C_i - I_{i-1,i} \cdot t_{i-1,i} \cdot \frac{1}{3600} \cdot \frac{1}{\eta_{me}} \right) / C_{nom} \quad (3.15)$$

Se determină energia disponibilă în baterie:

$$C_{i+1} = C_i - I_{i-1,i} \cdot t_{i-1,i} \cdot \frac{1}{3600} \cdot \frac{1}{\eta_{me}} \quad (3.21)$$

Curentul necesar în timpul regimului de motor este definit ca fiind:

$$I_{out} = \frac{P_{me}}{V_{nom}} \quad (3.22)$$

Curentul descărcat din baterie este:

$$C_{out} = I_{out} \cdot \Delta t \cdot \frac{1}{3600} \quad (3.23)$$

Intervalul de timp se exprimă cu relația:

$$\Delta t = \frac{s_{i-1,i}}{v_i} \quad (3.24)$$

Folosind capacitatea nominală a bateriei:

$$C_{nom} = \frac{E_{nom}}{V_{nom}} \cdot SoC_{max} \quad (3.25)$$

Nivelul de încărcare este:

$$SoC_{\%} = \left(C_i - C_{out} \cdot \frac{1}{\eta_{me}} \right) \cdot \frac{1}{C_{nom}} \cdot 100 \quad (3.26)$$

Unde capacitatea actuală (C_i) se exprimă prin:

$$C_i = C_{i-1} - C_{out} \cdot \frac{1}{\eta_{me}} \quad (3.27)$$

Echipamentul electric funcționează în regim de generator în timpul procesului de regenerare. Acest regim de generator este posibil atât timp cât nivelul de încărcare (SoC) este mai mic decât nivelul maxim de încărcare (SoC_{max}).

$$I_{in} = \min(I_{ref}, I_{eu,g}) \quad (3.28)$$

Unde I_{ref} este curentul maxim care poate fi folosit pentru încărcarea bateriei (pentru această aplicație a fost considerat $0.5 \cdot C_{nom}$ și $I_{em,g}$ este curentul produs de motorul electric în funcționarea ca generator de current).

Nivelul de încărcare al bateriei se exprimă astfel:

$$SoC_{\%} = (C_i + C_{in} \cdot \eta_{me}) \cdot \frac{1}{C_{nom}} \cdot 100 \quad (3.29)$$

Unde capacitatea actuală (C_i) este definită de relația:

$$C_i = C_{i-1} + C_{in} \cdot \eta_{me} \quad (3.30)$$

3.4 Simularea funcționării conceptului hibrid în mod electric în ciclul NEDC

În cadrul acestei secțiuni se va analiza performanța autovehiculului hibrid la parcurgerea ciclului NEDC (*New European Driving Cycle*).

Pentru a se evidenția capacitatea de autopropulsare a mașinii electrice a fost selectată secțiunea care abordează exclusiv regimul urban.

În figura 3.1. este prezentată secțiunea din ciclul NEDC utilizată pentru evaluare.

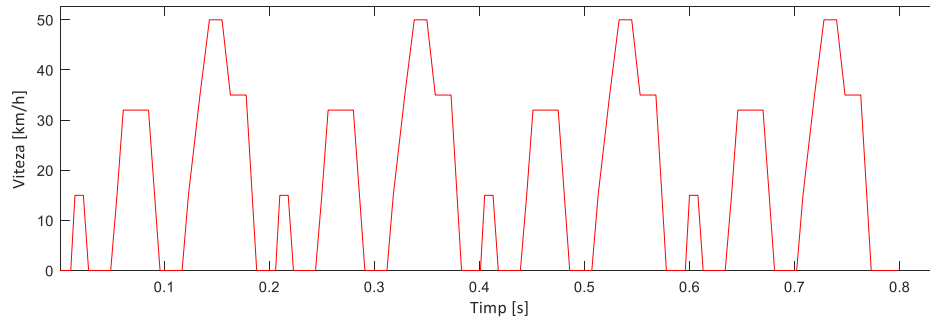


Fig. 3.1 Ciclul NEDC urban

Durata parcursului de drum este de 800 secunde. Viteza maximă de deplasare este de 50 *km/h*.

Se poate determina accelerația medie pentru fiecare secțiune de drum:

$$a_v = \frac{\Delta V}{3.6 \cdot \Delta t} \tag{3.31}$$

În figura 3.2 este prezentat graficul accelerației medii a autovehiculului pentru fiecare tronson de drum cuprins în ciclul de testare NEDC.

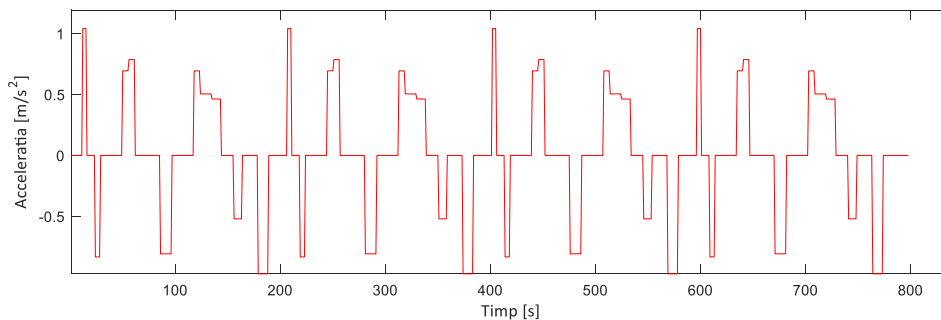


Fig. 3.2 Ciclul NEDC urban. Accelerația autovehiculului

Se determină spațiul parcurs de autovehicul pe durata parcurgerii ciclului:

$$s_i = s_{i-1} + v_{i-1,i} \cdot \Delta t + \frac{1}{2} \cdot a_{i-1,i} \cdot (\Delta t)^2 \tag{3.32}$$

Variația vitezei autovehiculului în funcție de spațiul parcurs este prezentată în figura 3.3.

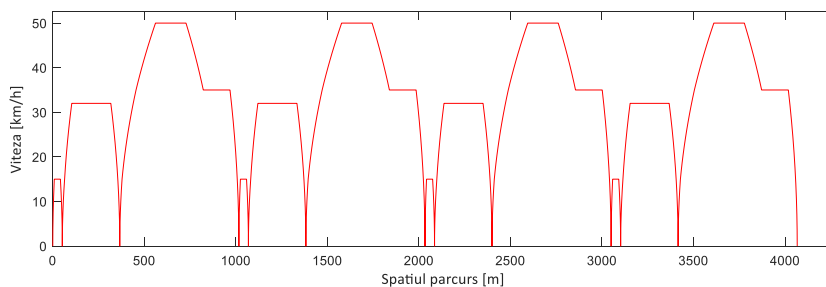


Fig. 3.3 Ciclul NEDC urban. Viteza vs. spațiul parcurs.

Ecuția generală de mișcare 3.1 devine:

$$P_R = P_r + P_a + P_p + P_a \tag{3.33}$$

unde sunt definite puterile specifice forțelor active și ale forțelor de rezistență la înaintarea autovehiculului.

Figura 3.4. prezintă puterea corespunzătoare învingerii rezistenței la rulare:

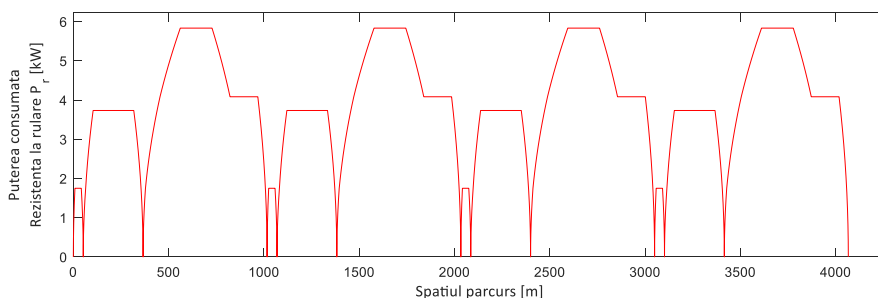


Fig. 3.4 Ciclul NEDC urban. Puterea necesară învingerii rezistenței la rulare.

În figura 3.5 este prezentată variația puterii necesară pentru învingerea rezistenței aerului.

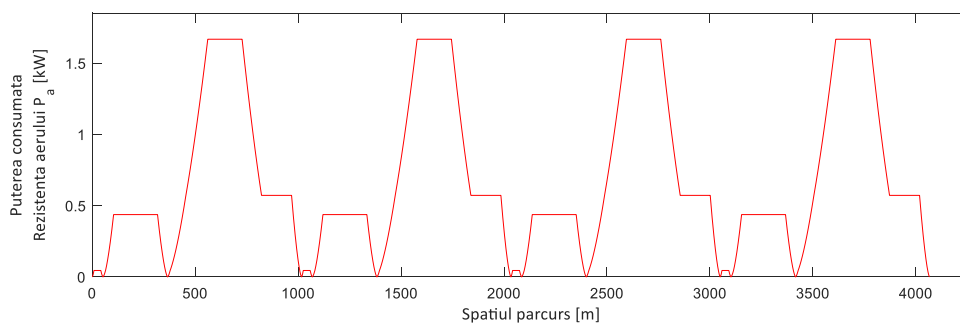


Fig. 3.5 Ciclul NEDC urban. Puterea necesară învingerii rezistenței aerului.

Informațiile referitoare la accelerația autovehiculului permit identificare modului de variație a rezistenței la demarare în funcție de spațiul parcurs.

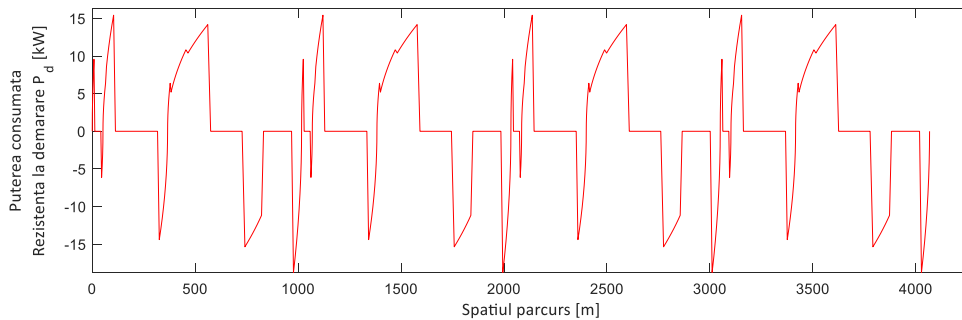


Fig. 3.6 Ciclul NEDC urban. Puterea necesară învingerii rezistenței la demarare.

Prin evaluarea cumulată a informațiilor prezentate în figurile 3.4-3.6 se poate determina variația puterii la roată.

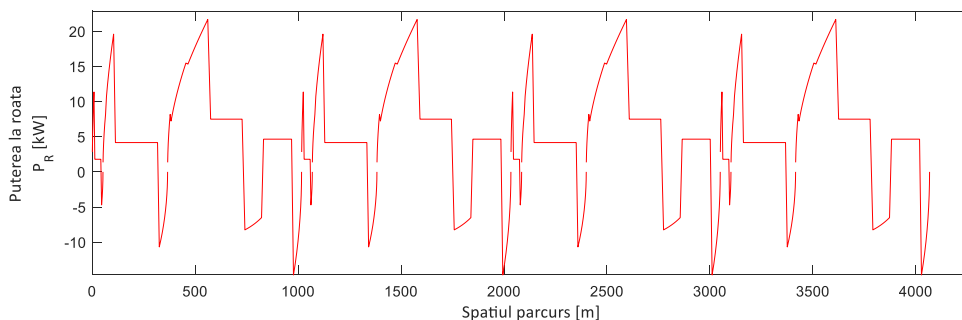


Fig. 3.7 Ciclul NEDC urban. Puterea la roată

Datele prezentate în figura 3.7 sunt prelucrate în mod corespunzător pentru a se evidenția puterea necesară în regimul tracțiunii.

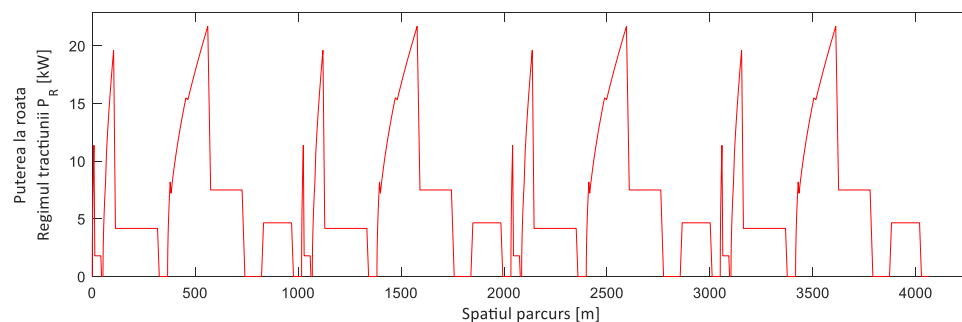


Fig. 3.8 Ciclul NEDC urban. Puterea necesară la roată

Datele prezentate în figura 3.8 sunt convertite în putere electrică provenită de la baterii. Relația 3.22 definește valoarea intensității curentului electric necesar din bateria de tracțiune.

Graficul de variație este prezentat în figura 3.9.

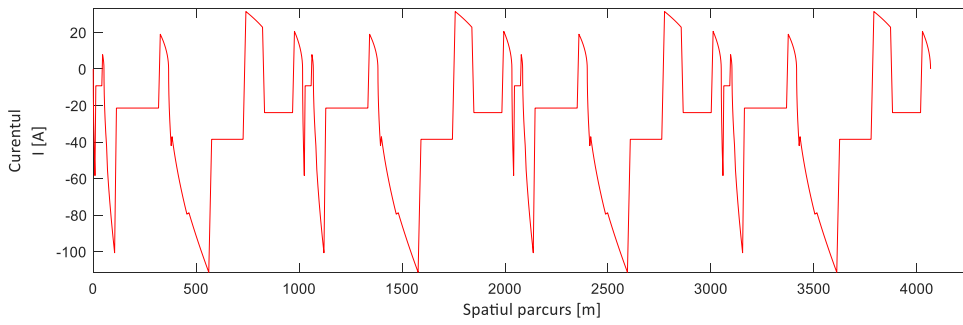


Fig. 3.9 Ciclu NEDC urban. Intensitatea curentului

Valorile negative sunt specifice regimului tracțiunii, iar valorile pozitive indică intensitatea curentului pentru procesul de regenerare și încărcare a bateriei de tracțiune.

Se poate determina starea de încărcare a bateriei pentru evaluarea parcursului de drum ce poate fi efectuat în condițiile NEDC. (figura 3.10)

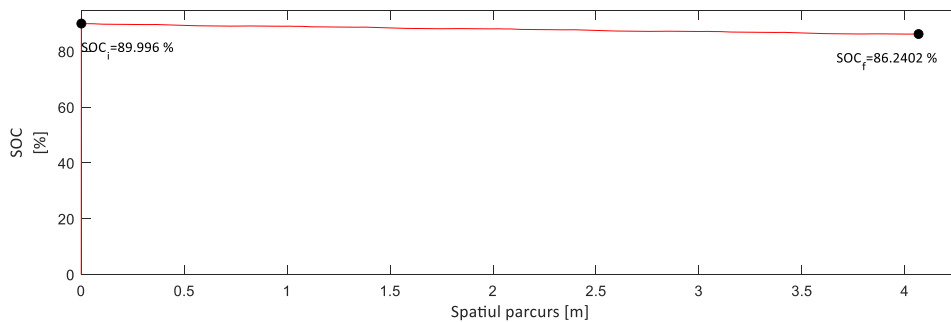


Fig. 3.10 Ciclu NEDC urban. Starea de încărcare a bateriei

Rezultatele arată faptul că pentru parcurgerea ciclului se consumă:

$$SoC_{NEDC} = 90 - 86.24 = 3.76 \tag{3.34}$$

Se poate determina parcursul maxim de drum în condițiile NEDC:

$$S = \frac{SoC_{max} - SoC_{min}}{SoC_{NEDC}} \cdot S_{NEDC} \approx 74.5 \text{ km} \tag{3.35}$$

Evaluarea momentului motor (M_{me}) și integrarea în caracteristica de funcționare este utilă pentru definirea regimului de funcționare.

În figura 3.11 este prezentată diagrama de variație a momentului la axul motorului electric.

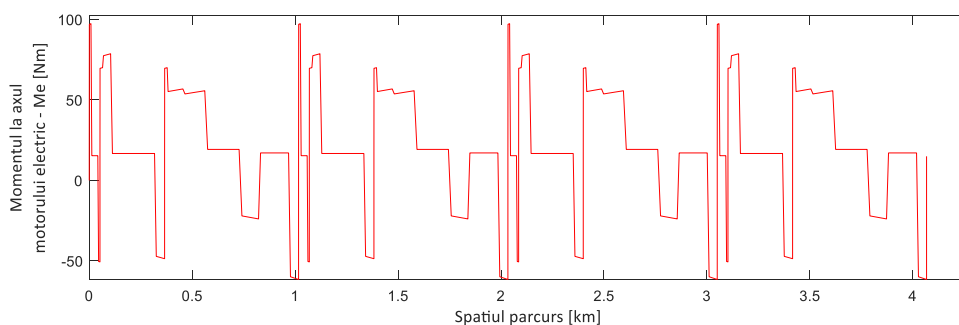


Fig. 3.11 Regimul de funcționare a motorului electric

În figura 3.12 este prezentată diagrama de variație a momentului motor în funcție de turație cu indicarea regimurilor de funcționare specifice NEDC

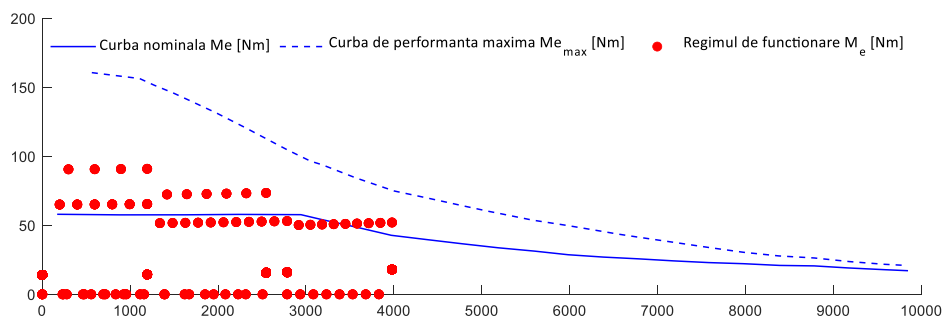


Fig. 3.12 Funcționarea motorului electric

În Aplicația 3.1 este prezentat programul MATLAB elaborat pentru analiza autovehiculului în condițiile deplasării urmând indicațiile ciclului NEDC.

3.5 Evaluarea performanțelor de demarare ale conceptului hibrid

Vor fi analizate performanțele de demarare ale autovehiculului hibrid pentru evaluarea vitezei maxime de deplasare.

În figura 3.13 este prezentat graficul de variație a vitezei în funcție de timpul necesar demarajului.

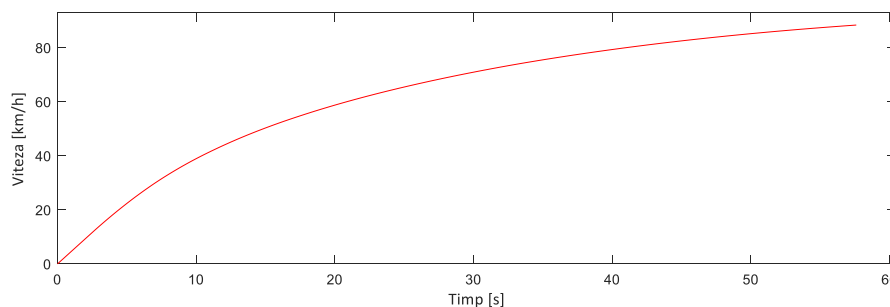


Fig. 3.13 Demarajul autovehiculului. Variația vitezei

Viteza maximă de deplasare a autovehiculului determinată teoretic este de 88.36 km/h.

Spațiul necesar pentru deplasarea cu viteza maximă este prezentat în figura 3.14

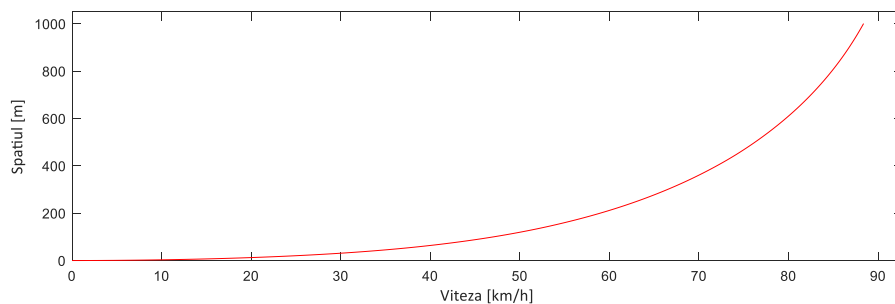


Fig. 3.14 Demarajul autovehiculului. Spațiul de demarare

Viteza maximă de deplasare cu ajutorul motorului electric se realizează după un parcurs de 1000 m.

Variația accelerației instantanee a autovehiculului este prezentată în figura 3.15.

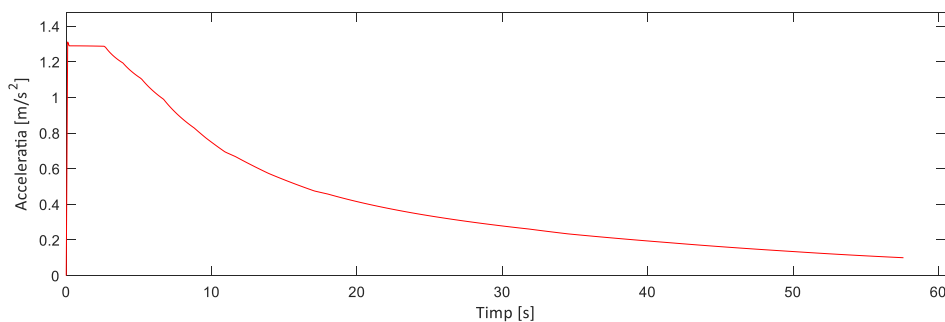


Fig. 3.15 Demarajul autovehiculului. Accelerația autovehiculului

Autovehiculul funcționează cu motorul electric în zona de performanța maximă. Curentul debitat în timpul demarajului este prezentat în figura 3.16.

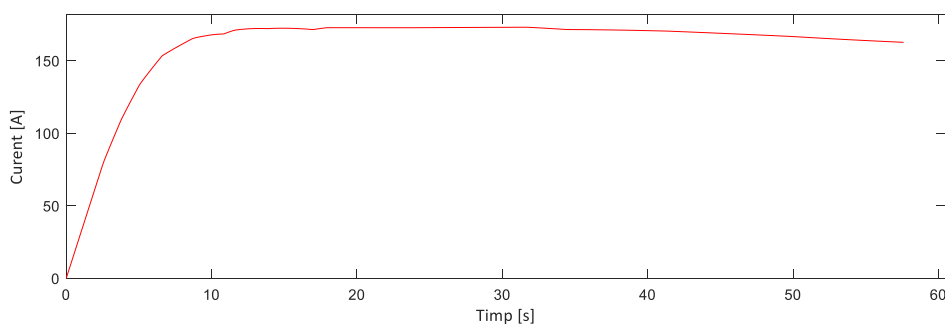


Fig. 3.16 Demarajul autovehiculului. Curentul debitat

Graficul de variație al stării de încărcare a bateriei este prezentat în figura 3.17.

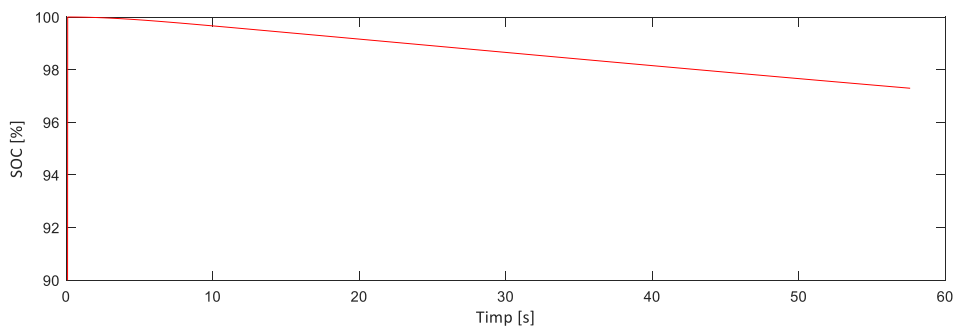


Fig. 3.17 Demarajul autovehiculului. Starea de încărcare a bateriei

Starea de încărcare a bateriei la finalul ciclului de demarare este 97.29 %.

4. Descrierea realizării modelului funcțional GASTER E4WD

4.1 Prezentarea generală a conceptului GASTER Electricway 4WD

Pentru realizarea modelului funcțional al conceptului GASTER E4WD PHEV a fost utilizat un vehicul Dacia Duster 4X2 pus la dispoziție de Renault Technologie Roumanie.

Conceptul a fost realizat în cadrul laboratorului *Sisteme Alternative de Propulsie–Vehicule Electrice și Hibride* din centrul de cercetare *Ingineria Automobilului* (figura 4.1).

Adaptarea sistemului hibrid la autoturismul SUV Dacia Duster s-a realizat ținând cont de compatibilitatea geometrică și funcțională a motoarelor, transmisiilor și a punților motoare precum și de disponibilitatea geometrică a părții din față și a părții din spate de a integra noile grupuri motopropulsoare.

Restricțiile impuse la demararea proiectului au vizat în special păstrarea integrală a structurii de rezistență a caroseriei în zonele în care sunt integrate noile componente ale sistemului hibrid și a mecanismelor de ghidare ale punților.

De asemenea s-a urmărit ca sistemele de direcție, suspensie și frânare să fie adaptate noului sistemului hibrid.



Fig.4.1. Conceptul Dacia GASTER Electricway 4WD

Conceptul GASTER Electricway 4WD are o arhitectură similară cu GRAND HAMSTER Electricway 4WD [11], [12].

El este realizat cu componente noi și reprezintă o soluție Plug-in (PHEV) evoluată, în conformitate cu cerințele de poluare Euro 6.

Arhitectura conceptului GASTER Electricway 4WD este prezentată în figura 4.2. Sistemul hibrid de propulsie, este un sistem de tip paralel, cu adiție de cuplu în soluția P4.

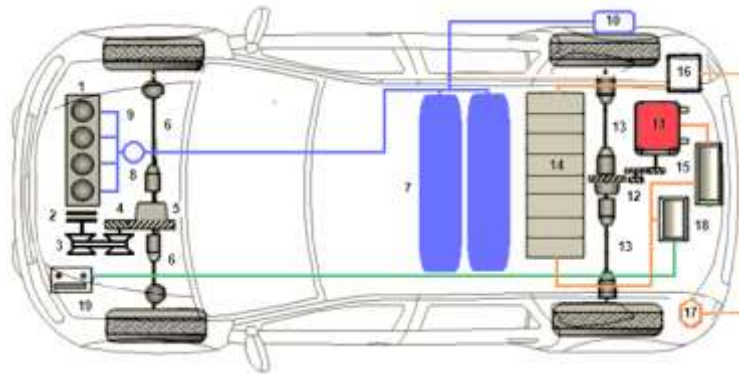


Fig. 4.2 Arhitectura conceptului GASTER Electricway 4WD

Organizarea acestui sistem de propulsie hibrid de tip Plug-in (PHEV) se face prin împărțirea acestuia în două părți, (soluție motorizată E- 4WD): grupul motopropulsor termic în partea din față și grupul motopropulsor electric în partea din spate.

Grupul motopropulsor termic cu motor (1) alimentat în principal cu GNC (8,9) cuplat de o transmisie cu variație continuă CVT (2,3,4,5) este montat în partea din față a vehiculului.

Grupul de propulsie electric cu motor electric (11) este montat în partea din spate.

Rezervorul de combustibil gaz Natural comprimat GNC cu 2 cilindri (7) este situat sub planșeu în zona banchetei din spate.

Pentru siguranță, a fost prevăzut un rezervor suplimentar de benzină (neprezentat în figură), situat pe partea din spate a vehiculului.

Prizele de umplere cu GNC și benzină (10) sunt amplasate pe partea dreaptă spate.

Bateria litiu-ion (14) este instalată deasupra punții din spate. Modulul invertor de tracțiune pentru motorul electric (15), încărcătorul acesteia (16), încărcătorul bateriei auxiliare de 12 V (18) sunt montate în partea din spate.

Bateria auxiliara de 12 V (19) rămâne instalată în suportul său din față.

Priza de încărcare a bateriei de tracțiune (17) este amplasată în partea stângă spate.

Arhitectura managementului termic a autovehiculului include 4 circuite hidraulice complexe de răcire/încălzire a componentelor.

4.2 Adaptările noului echipament termic al sistemului hibrid de propulsie

Motorul GASTER Electricway 4WD PHEV este un 1,6 S Ce, cu patru cilindri, de tip H4M, 84 kW @ 5500 rpm, răcit cu lichid alimentat pentru prima dată cu gaz natural comprimat (CNG), (figura 4.3). Pentru realimentarea cu Gaz Natural Comprimat sub clapeta de alimentare cu benzina a fost montată priza (1) pentru acest combustibil alături de priza de alimentare cu benzina (2).



Fig 4.3 Noul grup motopropulsor termic al GASTER Electricway 4WD PHEV cu motor termic alimentat cu GNC cuplat cu o cutie de viteze automată, tip CVT

Având în vedere că în locul rezervorului de benzină au fost montate buteliile cu GNC, pentru situația de urgență datorată lipsei de gaz a fost realizată o variantă de rezervor etanș (fără emisii evaporative în exterior) în perioadele de funcționare în mod electric sau termic alimentat cu GNC permite reducerea emisiilor poluante datorate vaporilor de benzină.

4.3 Adaptările echipamentului electric al sistemului hibrid de propulsie

4.3.1 Adaptarea punții din spate la sistemul hibrid de propulsie

Grupul motopropulsor electric cu motor electric asincron și transmisie cu raport constant de la GASTER Electricway 4WD PHEV (figura 4.7) este montat în partea din spate într-o soluție inovatoare, cu o punte de tip H cu traversă torsionabilă.

Această punte spate este o soluție adaptată de la GRAND HAMSTER Electricway 4WD.



Figura 4.7 Puntea din spate de tip „H” (stânga) cu grupul motopropulsor electric-modelare CATIA (stânga) și implementarea lui pe conceptul GASTER Electricway 4WD PHEV (dreapta)

Realizarea modificărilor punții din spate cu traversă torsionată pentru a fi transformată în punte motoare, a fost făcută în atelierul de prelucrări mecanice prin aşchiere al centrului de cercetare *Ingineria Automobilului*. Pentru adaptarea punții în “H” la funcția motoare s-a pornit de la o punte nemotoare la care s-au modificat zonele laterale de prindere a platourilor de frânare (figura 4.8) și reconstruirea “montajului de roată” ce include rulmenții de roată.



Fig. 4.8 Zonele modificate ale punții din spate (de culoare gri) pentru adaptarea noului tip de montaj de roata construit pentru funcția „motoare”

Componentele noii punți din spate prezentate în figura 4.9 sunt: grinda punții cu traversă torsionată (1) cu zonele de prindere a platourilor de frână (2) cu noile montaje de roată (4), fixată față de caroserie prin suportți (3).



Figura 4.9 Puntea din spate de tip „H” (stânga) cu grupul motopropulsor electric-modelare CATIA (stanga) și implementarea lui pe conceptul GASTER Electricway 4WD PHEV (dreapta)

4.3.2 Adaptarea suspensiei punții din spate la sistemul hibrid de propulsie

Pentru a adapta puntea spate la noua distribuție a greutateii, suspensia spate a fost revizuită și include două arcuri suplimentare de tip pneumatic cu perne de aer (1) montate concentric cu arcurile metalice (2) (figura 4.10).

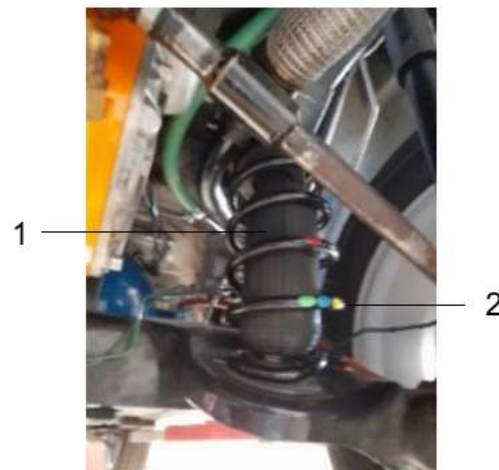


Figura 4.10 Arcurile pneumatice cu perne de aer (1) montate în paralel cu arcurile elicoidale (2) pentru a adapta puntea spate la noua distribuție a greutății la conceptul GASTER E 4WD PHEV

4.3.3 Adaptarea sistemului de frânare la sistemul hibrid de propulsie

Sistemul de frânare al conceptului *GASTER Electricway 4WD* cu propulsie hibridă de tip Plug-in a fost adaptat la funcționarea în mod electric pur.

Având în vedere că în acest mod de funcționare motorul termic nu funcționează și ca urmare nu avem vacuum pentru asistarea procesului de frânare a fost construit un sistem similar conceptului funcțional *GRAND HAMSTER Electricway 4WD* [11], [12] care include o pompă de vacuum acționată electric (1), un rezervor de vacuum (2) și un senzor de vacuum (3) (figura 4.11).



Figura 4.11 Componentele sistemului vacuumatic de asistare a sistemului de frânare construit pentru conceptul GASTER Electricway 4WD PHEV

4.3.4 Adaptarea sistemului de confort termic HVAC la sistemul hibrid de propulsie

Sistemul de confort termic HVAC al conceptului *GASTER Electricway 4WD* cu propulsie hibridă de tip Plug-in a fost adaptat la funcționarea în mod electric pur prin utilizarea unui compresor AC antrenat electric. El este montat pe motorul termic în locul compresorului antrenat în versiunea termică cu curea de accesorii.

Conexiunile compresorului la circuitul de aer condiționat (AC) sunt similare versiunii termice.

Pentru încălzirea habitaculului la funcționarea în mod electric, în unitatea de ventilație încălzire și aer condiționat AC (HVAC) a fost montată o unitate de încălzire aer-aer cu rezistențe cu coeficient de temperatură pozitiv (Positive Temperature Coefficient - PTC). Ele sunt caracterizate de creșterea rezistenței odată cu temperatura.

4.3.5 Adaptarea postului de conducere la noul sistem hibrid de propulsie

Postul de conducere al conceptului *GASTER Electricway 4WD* este similar unui post de conducere al unui vehicul cu motor termic și transmisie automată la care sunt prezente între altele: pedala de accelerație, pedala de frână și levierul selector PRND + Mod secvențial. Actuala realizare a conceptului permite numai funcționarea în mod termic, în mod electric și în mod de frânare regenerativă. Funcționarea duală în mod hibrid termic – electric va fi o dezvoltare ulterioară.

Pentru comanda funcționării în mod electric de la viteza 0 km/h la viteza de 50 km/h și alegerea stării de mers a vehiculului (Mers înainte, Neutru, Mers înapoi), similar conceptului *GRAND HAMSTER E4WD* [11], [12] a fost implementat un panou cu două butoane de comandă EV-HEV și RND.

4.4 Modurile de funcționare ale conceptului GASTER E4WD PHEV

Modurile de funcționare ale conceptului *GASTER Electricway 4WD PHEV* sunt prezentate în figura 4.13.

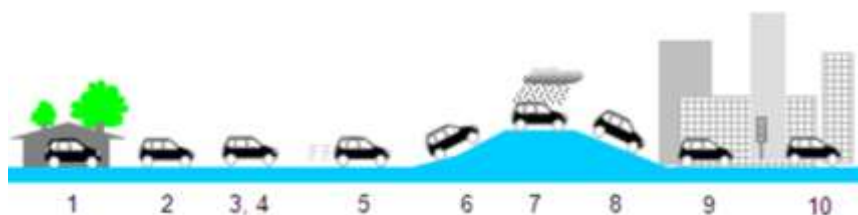
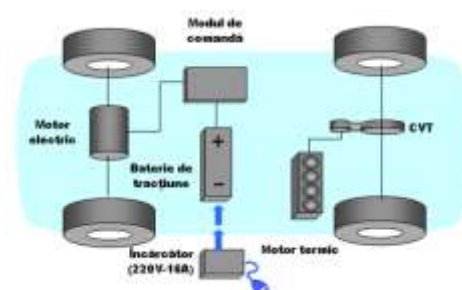


Figura 4.13 Modurile de funcționare ale conceptului *GASTER Electricway 4WD PHEV*

Acestea sunt: 1. Parcare cu încărcarea bateriei de tracțiune de la rețeaua electrică; 2. Pornire din loc în mod electric; 3. Deplasarea la viteze mici în mod electric; 4. Deplasarea în mod termic cu recuperarea energiei excedentare pentru reîncărcarea bateriei; 5. Deplasarea în condiții normale în mod termic; 6. Accelerație intensă obținută cu ambele motorizări; 7. Tracțiune integrală cu ambele motorizări Electricway 4WD; 8. Frânare regenerativă; 9. Oprire cu încetarea funcționării motoarelor; 10. Pornire din loc în mod electric.

4.4.1 Staționare cu încărcarea bateriei de tracțiune

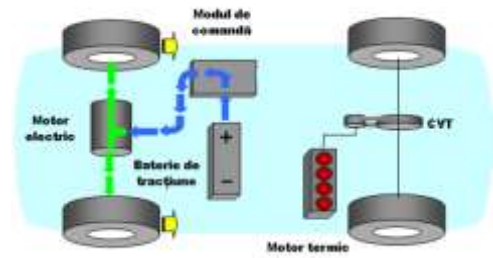
Din considerente legate de funcționarea vehiculului în modul electric pur, cu autonomie sporită, bateria de tracțiune ce alimentează motorul electric este dimensionată corespunzător și este încărcată în perioadele de staționare de la rețeaua



electrică 220V-16A prin intermediul unui încărcător îmbarcat.

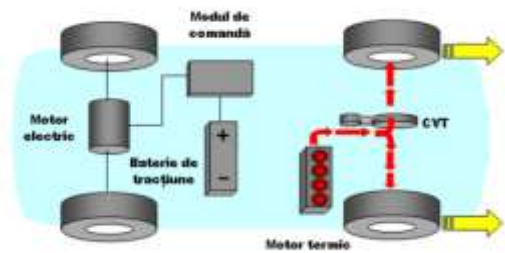
4.4.2 Deplasarea la viteze mici în mod electric

La deplasarea cu viteze mici și medii utilizarea motorului electric alimentat cu energie electrică regenerabilă stocată în bateria de tracțiune, determină un bilanț energetic mai favorabil decât cel oferit de motorul termic. Ca urmare, consumul global de combustibil al vehiculului este redus iar nivelul de poluare în ceea ce privește noxele este nul (ZEV-Zero Emission Vehicle). Dacă motorul termic este rece, acesta este pornit pentru a intra în funcțiune cu emisii minime.



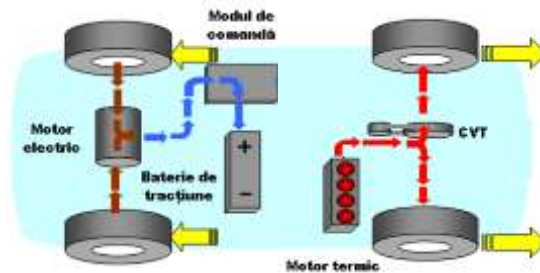
4.4.3 Deplasarea în viteză de croazieră în mod termic

Deplasarea vehiculului la viteză de croazieră este asigurată numai de către motorul termic. Puterea furnizată de acesta este dirijată către roțile din față, prin intermediul transmisiei cu variație continuă, pentru autopropulsare.



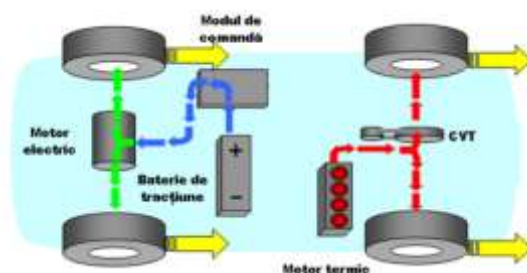
4.4.4 Deplasarea în viteză de croazieră în mod termic cu recuperarea energiei excedentare pentru reîncărcarea bateriei

Pentru optimizarea bilanțului energetic la deplasarea în mod termic cu viteză de croazieră, sistemul determină motorul termic să funcționeze în zona de randament maxim, situație în care puterea furnizată poate să fie excedentară (peste nivelul necesar pentru învingerea rezistențelor la înaintarea vehiculului). În acest caz, dacă nivelul energetic din baterie este la limită, motorul termic va furniza o putere mai mare pentru producerea de energie suplimentară în vederea reîncărcării bateriei prin intermediul mașinii electrice din spate care funcționează ca generator, antrenarea făcându-se prin calea de rulare.



4.4.5 Accelerare intensă pentru obținerea unor performanțe dinamice superioare

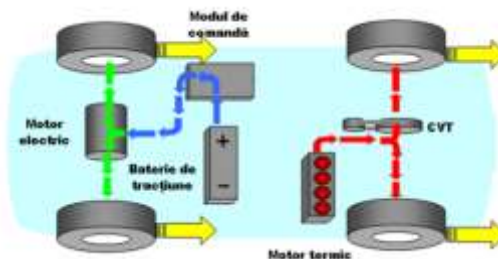
În cazul necesității unei accelerări intense (ex: pe o rampă sau într-o depășire) bateria de tracțiune furnizează o putere suplimentară pentru autopropulsare prin alimentarea motorului electric. Utilizarea combinată a celor două puteri, obținute pe cale termică și cale electrică, în mod continuu, fără întreruperea fluxurilor, permite



obținerea unei accelerații liniare și suplă, comparabilă cu cea oferită de un motor termic de clasă superioară.

4.4.6 Tracțiune integrală pentru un comportament rutier favorabil pe căi cu aderență scăzută

Tracțiunea integrală (4x4) este asigurată de motorizarea termică ce antrenează puntea din față și de motorizarea electrică ce antrenează puntea din spate, sistemul prezentând avantajul unei bune repartiții a cuplului pe cele patru roți. Această funcțiune poate fi impusă de către conducător la rulare cu viteză redusă pe căi cu aderență scăzută, prin poziționarea butonului selector în poziția 4X4.

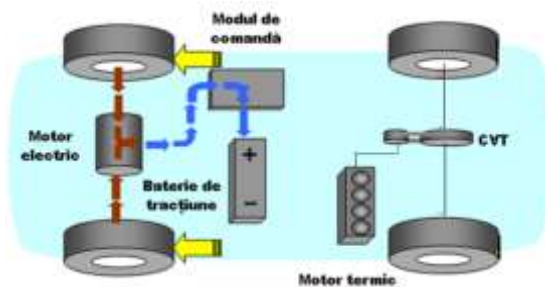


Lipsa legăturii rigide între punți sau a unor legi fixe de repartizare a cuplului către puntea din spate (specifică soluțiilor de vehicule clasice cu propulsie exclusiv termică) face din acest vehicul un 4X4 performant.

Acest mod de funcționare posibil nu a fost dezvoltat în cazul actualului concept datorită complexității calibrărilor și din lipsa de date specifice privind controlerelor motorului termic și motorului electric.

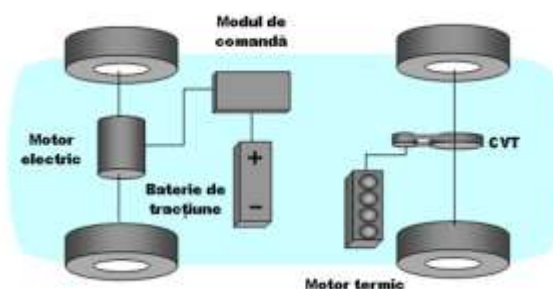
4.4.7 Decelerare cu recuperarea energiei și stocarea ei în bateria de tracțiune

La frânare sau la decelerare sistemul recuperează energia prin funcționarea motorului electric în regim de generator. Energia cinetică a vehiculului din perioada de decelerare, pierdută în general prin transformarea în căldură la vehiculele termice, este recuperată sub formă de energie electrică ce este stocată în bateria de tracțiune, în vederea utilizării ei viitoare.



4.4.8 Oprește cu toate puterile motoare nule ca urmare a opririi automate a celor două motoare

La oprirea pe loc, motorul termic și motorul electric ies din funcțiune automat, motorul termic prin sistemul Stop & Start iar motorul electric prin controlerul sau pe baza semnalelor primite. Ca urmare, în această stare nu apare nici un consum energetic.



5. Echipamentul termic de propulsie al sistemului hibrid de la conceptul GASTER E4WD

5.1 Prezentarea generală a echipamentului termic de propulsie al sistemului hibrid

Având în vedere că sistemele hibride de propulsie sunt în general de tip termic-electric cu transmisie automată, pentru modelul funcțional a fost adoptat un grup motopropulsor termic amplasat în față (figura 5.1).

El este format dintr-un motor termic compatibil cu vehiculul de baza Dacia Duster de tip Renault H4M (1) și o transmisie cu variație continuă CVT Nissan X-Tronic (2).

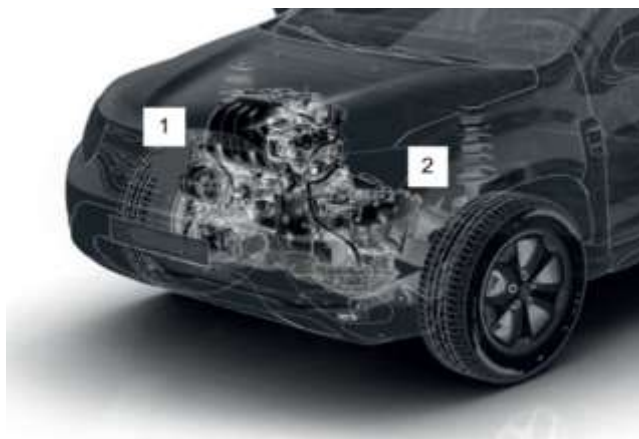


Fig. 5.1 Grupul motopropulsor termic cu motor H4M și transmisie cu variație continuă CVT X-Tronic

Componentele au fost puse la dispoziție pentru dotarea laboratorului *Sisteme Alternative de Propulsie-Vehicule Electrice si Hibrice* de către *Renault Technologie Roumanie*.

Motorul termic Renault H4M cu 4 cilindri, 1,6 litri a fost adaptat la alimentarea cu Gaz Natural Comprimat printr-o instalație secvențială dintr-un ansamblu de 2 butelii și, în caz de urgență (lipsă GNC), cu benzină dintr-un rezervor nou construit, de tip etanș.

5.2 Motivarea alegerii arhitecturii echipamentului termic al sistemului hibrid de propulsie

5.2.1 Randamentul global în procesul autopropulsării în mod termic

În procesul autopropulsării unui vehicul hibrid, cea mai mare parte din energia furnizată de motoare, este utilizată pentru învingerea forțelor rezistente la înaintare datorate mediului înconjurător, configurației drumului sau sporirii vitezei. Deplasarea este posibilă când la roată este dezvoltată o forță F_R egală cu suma acestor rezistențe. La deplasarea cu viteza v puterea necesară învingerii acestor rezistențe va fi:

$$P_R = F_R v \quad (5.1)$$

În plus, pentru satisfacerea actualelor cerințe de securitate și confort, autoturismul este echipat cu instalații auxiliare electrice, condiționare aer, direcție asistată, etc, consumatoare de energie.

Luând în considerare și puterea consumată de acestea, $\sum P_{aux}$, variabilă în timp și dependentă de condițiile ambiante, condițiile de mers și pretențiile conducătorului, puterea necesară totală devine:

$$P_{nec} = P_R + \sum P_{aux} \quad (5.2)$$

În cazul autoturismelor cu propulsie clasică, întreaga cantitate de energie consumată este furnizată de un motor cu ardere internă. Acesta oferă o putere utilizabilă sub formă mecanică P_e ; puterea termică consumată P_c pentru obținerea puterii efective P_e , este proporțională cu cantitatea de combustibil supus arderii q_{cb} și puterea calorică inferioară la presiune constantă P_{cal} , conform relației:

$$P_c = q_{cb} \cdot P_{cal} \quad (5.3)$$

Conversia energiei este caracterizată de randamentul termic:

$$\eta_m = \frac{P_e}{P_c} = \frac{P_e}{q_{cb} \cdot P_{cal}} \quad (5.4)$$

Dacă considerăm întreg ansamblul vehicul ca mașină termică putem defini randamentul autopropulsării, în manieră clasică, ca raport între puterea utilă (puterea la roata de propulsie) și puterea consumată la nivelul sursei energetice:

$$\eta_{auto} = \frac{P_R}{P_c} = \frac{P_R}{q_{cb} \cdot P_{cal}} \quad (5.5)$$

Transmiterea fluxului de putere către roțile motoare ale automobilului este penalizată de pierderi inerente, evaluate convențional prin randamentul transmisiei:

$$\eta_{tr} = \frac{P_R}{P_e - \sum P_{aux}} \quad (5.6)$$

Ținând cont de bilanțul energetic al autoturismului (figura 5.3) și ecuațiile 5.4, 5.5 și 5.6, relația randamentului global devine:

$$\eta_{auto} = \eta_m \cdot \eta_{tr} \cdot \frac{1}{1 + \frac{\sum P_{aux}}{P_R} \cdot \eta_{tr}} \quad (5.7)$$

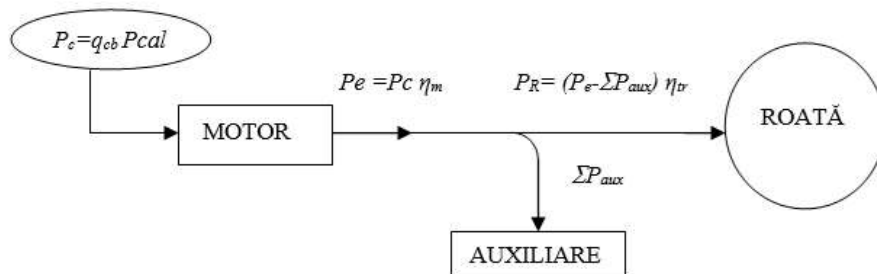


Fig. 5.3 Bilanțul energetic al autoturismului în procesul autopropulsării în mod termic [48]

În cazul în care $P_{aux} \ll P_R$ termenul $\frac{P_{aux}}{P_R} \rightarrow 0$ și randamentul autovehiculului devine egal cu produsul randamentelor motorului η_m și transmisiei η_{tr} , adică:

$$\eta_{auto} = \eta_m \cdot \eta_{tr} \quad (5.8)$$

Această relație evidențiază că optimizarea randamentului global al vehiculului în procesul autopropulsării este posibilă prin furnizarea energiei necesare autopropulsării la un regim de funcționare a motorului la care randamentul este maxim, iar transferul către roți este realizat cu pierderi minime.

5.2.2. Analiza funcționării motorului termic cu transmisie cu variație în trepte a raportului de transmitere

Conform figurii 5.8, autopropulsarea autoturismului cu motorul termic poate avea loc atât în treapta a II-a cât și în treapta a III-a de viteză.

- utilizând treapta a II-a a cutiei de viteze (punctul T_2) se poziționează punctul de funcționare a motorului în M_2 . Utilizând treapta a III-a (punctul T_3) în câmpul de funcționare a motorului se definește punctul M_3 . Analizând poziția punctelor M_2 și M_3 în raport cu curbele optime de funcționare a motorului putem observa că:
- utilizând treapta a III-a se determină funcționarea motorului în M_3 ; motorul are un consum redus de combustibil (apropierea de curba de utilizare economică M_E) și rezerve mici de putere (apropierea de caracteristica externă), cu dezavantajele ce decurg de aici (performanțe dinamice modeste și siguranță redusă în trafic);

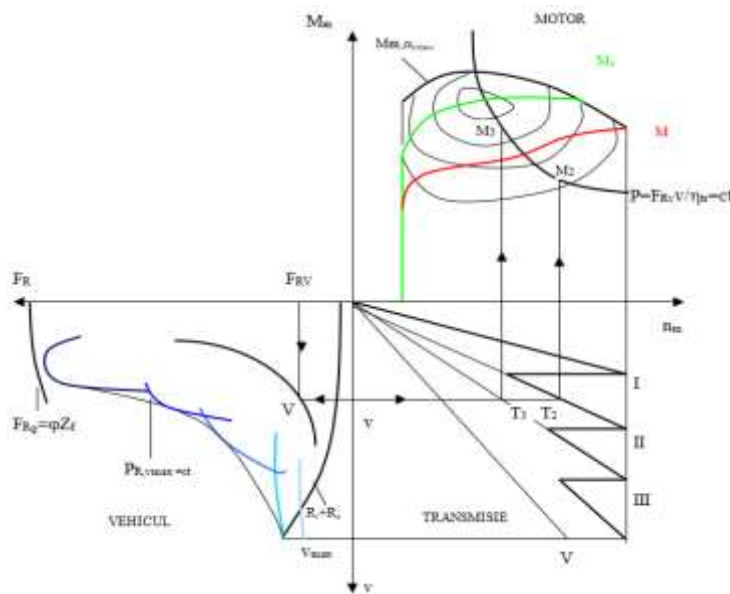


Fig. 5.8 Caracteristica complexă de funcționare a autoturismului în procesul autopropulsării în cazul echipării cu o transmisie mecanică cu 5 trepte(TM5) [48]

- prin utilizarea treptei a II-a, punctul T_2 situează funcționarea motorului în M_2 , poziție ce determină, prin rezerva mare de putere, performanțe de demarare bune însă cu un consum mare de combustibil; în plus, în cazul transmisiei cu variație în trepte a raportului de transmitere trepte cu comandă manuală alegerea de către conducător a uneia din cele două posibilități este opțional-subiectivă, funcție de experiență, condiții de deplasare, interes și stil de conducere;
- prin utilizarea treptei a II-a, punctul T_2 situează funcționarea motorului în M_2 , poziție ce determină, prin rezerva mare de putere, performanțe de demarare bune însă cu un consum mare de combustibil.

În cazul transmisiei în trepte cu comandă manuală alegerea de către conducător a uneia din cele două posibilități este opțional-subiectivă, funcție de experiență, condiții de deplasare, interes și stil de conducere

5.2.3 Analiza funcționării motorului termic cu transmisie cu variație continuă

Funcționarea modelului funcțional în mod termic cu transmisie cu variație continuă este prezentată în figura 5.9.

În acest caz, câmpul de funcționare a transmisiei este extins și este limitat de două curbe restrictive definite de valorile extreme ale raportului de transmitere $i_{max, KD}$ și $i_{min, OD}$ corespunzătoare pedalei de accelerație complet apăsată *Kick-Down (KD)* și libere *Over-Drive (OD)*.

Punctului V din câmpul vehiculului, definit similar cazului precedent, îi sunt oferite de transmisia cu variație continuă (CVT) o infinitate de valori posibile pentru raportul de transmitere; aceste valori, situate între punctele T_{OD} și T_{KD} , ce impun pentru motor o infinitate de puncte posibile de funcționare dispuse de-a lungul curbei de izoputere $P=constant$.

Prin intermediul unui raport de transmitere bine ales, din toate punctele posibile de funcționare ale motorului, se poate obține, funcție de nevoie, acel regim în care se dispune de eficiență economică maximă, $M_{CVT,E}$, de pe curba M_E , sau capacitate de demarare maximă $M_{CVT,S}$, pe curba M_S .

Analiza efectuată asupra deservirii vehiculului de către motor cu cele două tipuri distincte de transmisii conduce la următoarele observații:

- Transmisia automobilului, prin intermediul principalului parametru cinematic raportul de transmitere, impune punctul de funcționare a motorului, influențând în mod esențial randamentul global al acestuia η_m ;
- Prin multitudinea de valori și variația continuă a raportului de transmitere, realizat în mod automat de transmisia cu variație continuă (CVT), pot fi urmărite curbele de utilizare optimă a motorului M_E , M_S astfel încât în funcție de dorința conducătorului să fie favorizată fie economicitatea fie dinamicitatea autoturismului.

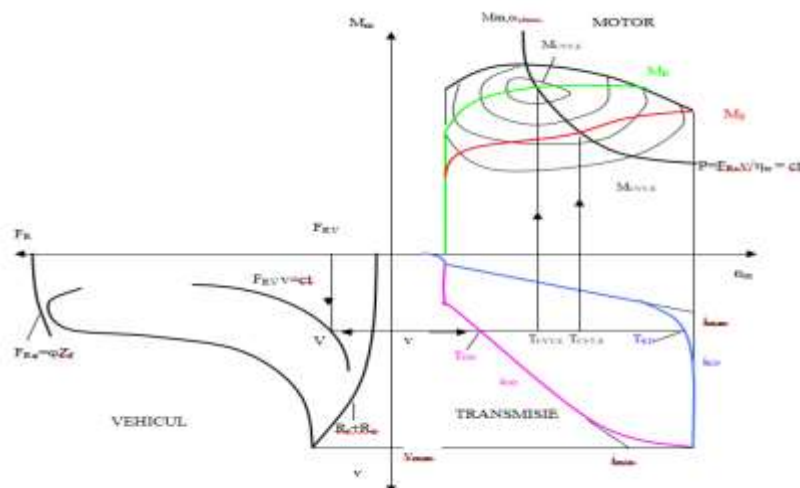


Fig. 5.9 Caracteristica complexă de funcționare a autoturismului în procesul autoturării în cazul unei transmisii cu variație continuă (CVT) [48]

Alegerea principiului transmisiei cu variație continuă destinate autoturismului, spre care este focalizat studiul, trebuie făcută în primul rând din considerentul randamentului ce caracterizează transmiterea fluxului de putere de la motor la roți (factorul al doilea din relația 5.8).

5.3 Arhitectura echipamentului termic al sistemului hibrid de propulsie

Componentele puse la dispoziție de către *Renault Technologie Roumanie* în cadrul acordului de colaborare și combinația posibilă pentru un grup motopropulsor termic amplasat în față, prezentate în schema din figura 5.1 sunt un motor termic Renault H4M cu 4 cilindri, 1,6 litri alimentat cu Gaz Natural Comprimat printr-o instalație secvențială dintr-un ansamblu de 2 butelii cu benzină dintr-un rezervor nou construit de tip etanș și o transmisie cu variație continuă CVT X-Tronic.

În cadrul proiectului, a fost utilizat un motor Renault H4M compatibil cu compartimentul din față al vehiculului de serie *Dacia Duster* și cutia de viteze automată cu variație continuă (CVT).

Caracteristicile motorului original H4M utilizat în cadrul proiectului sunt prezentate în tabelul 5.1.

Principalele modificări aduse motorului termic utilizat au fost următoarele : adaptarea la alimentarea mono-combustibil cu Gaz Natural Comprimat ; adaptarea circuitului de răcire la încălzirea reductorului GNC pentru asigurarea alimentării mono-combustibil atâta timp cât în rezervorul există acest combustibil ; înlocuirea compresorului de aer condiționat antrenat prin curea de accesorii cu unul antrenat electric la înaltă tensiune din bateria de tracțiune ; Păstrarea sistemului de alimentare cu benzină în caz de nevoie dintr-un rezervor nou conceput de tip etanș, construcție specifică vehiculelor hibride cu autonomie sporită în mod electric.

Tabelul 5.1 Caracteristicile motorului original H4M utilizat în cadrul proiectului [3.1]

Tip motor	H4M 738
Cilindree (cm ³)	1598
Alezaj x Cursa (mm)	78x83,6
Număr de cilindri / de supape	4 în linie/16
Raport de comprimare	10,7
Putere maximă: kW (CP)	84 (114)
Turație de putere maximă (tr/min)	5500
Cuplu maxim CEE (Nm)	156
Turație de moment maxim (tr/min)	4000
Tip injecție	Multipunct secvențială
Carburant de baza	Benzină
Emisii poluante	Euro 6
CO ₂ ciclu mixt	145 g/km
Consum urban	7,7/100km
Consum extra urban	5,6/100km
Consum ciclu complet	6,4/100km

Pentru alimentarea motorului H4M cu Gaz Natural Comprimat a fost adoptată varianta *LANDIRENZO EVO* ce combină performanțele cu o instalare ușoară. Este unul dintre cele mai răspândite sisteme, datorită raportului remarcabil preț-calitate. Dimensiunea sa compactă îl face potrivit pentru adaptarea lui pe conceptul *GASTER Electriway 4WD*. Conform declarației *LANDIRENZO* [50] sistemul este fiabil, garantează calitate maximă și randament în timp. *LANDIRENZO EVO* îndeplinește cele mai stricte standarde europene de emisii (Euro 6).

Sistemul dispune de conectivitate OBDII prin protocoalele K și CAN. Oferă diagnosticare amănunțită asupra conexiunii cu injectoare de benzină și funcționarea injectoarelor individuale de gaz.

Versiunea OBD acceptă aplicația pentru smartphone *LANDIRENZO CONNECT*. Aplicația oferă informații despre consum, autonomie, emisii și multe altele.

Gazul Natural Comprimat (GNC) prevăzut pentru acest proiect este gazul metan stocat în butelii în stare gazoasă, comprimat la o presiune de 200-248 bari, la mai puțin de 1% din volumul pe care îl ocupă la presiunea atmosferică standard în vederea utilizării lui drept combustibil pentru vehicule cu motoare termice, conform Legii Energiei nr. 123/2012.

Gazul Natural Comprimat pentru Vehicule, compus în principal din metan (CH_4), este un substitut al combustibililor de origine petrolieră, precum benzina, reducând emisiile poluante de CO_2 cu cca 20% [51].

Arhitectura instalației de alimentare cu Gaz Natural Comprimat este prezentată în figura 5.11.

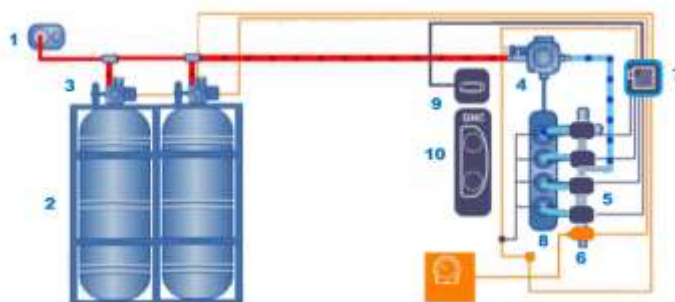


Fig. 5.11 Schema generală a instalației de injecție secvențială de gaz natural [51]

Sistemul de injecție GNC este un sistem secvențial de injecție multipunct. El este format dintr-un circuit de înaltă presiune și un circuit de presiune joasă.

Circuitul de înaltă presiune (cca 200 bari) (cu roșu în figura 5.11), este compus din următoarele elemente: dispozitivul de umplere (1) cu supapă unisens; un rezervor GNC (2), format din una sau mai multe butelii; grupul supapelor multifuncționale (3), atașat rezervorului.

Circuitul de joasă presiune (3-8 bari) este alcătuit din următoarele elemente (figura 5.11): un regulator de presiune (4), o rampă de injectoare (5), un senzor de presiune și temperatură (6).

Sistemul mai include: calculatorul GNC, colectorul de admisie (8), comutatorul GNC/Benzina (9), afișajul de bord pentru GNC (10).

Grupul supapelor multifuncțional (figura 5.12) este montat pe rezervor și controlează: deschiderea și închiderea rezervorului; presiunea; debitul de gaz; cantitatea de gaz conținută în rezervor.



Fig. 5.12 Grupul multisupape ale rezervorului de GNC

Grupul supapelor multifuncționari este alcătuit din următoarele elemente: o supapă electromagnetică pentru deschiderea și închiderea rezervorului controlată de computerul GNC, o siguranță termică și o supapă de reducere a presiunii care împiedică suprapresiunea în interiorul rezervorului, un senzor de presiune care informează computerul GNC despre cantitatea de gaz conținută în rezervor, un limitator de debit care limitează cantitatea de gaz care scapă în caz de scurgere.

Rezervorul pentru stocarea GNC este constituit din două butelii cilindrice, este amplasat sub planșeul central, în locul rezervorului de benzina. Buteliile sunt așezate pe un cadru construit special și sunt fixate cu câte două chingi metalice din oțel aliat.

Cele două butelii ale rezervorului GNC ce stochează gazul natural comprimat rezista la o presiune de până la 600 bari.

5.4 Transmisia cu variație continuă a echipamentului termic de propulsie

Transmisia conceptului *GASTER PHEV E4WD* este o transmisie automată cu variație continuă care oferă și posibilitatea funcționării în mod secvențial.

5.4.1 Generalități

Adaptarea transmisiei automate de tip CVT la conceptului *GASTER PHEV E4WD* s-a realizat ținând cont de compatibilitatea geometrică și funcțională a motorului, transmisiei și punții motoare față precum și de disponibilitatea geometrică a compartimentului față de a integra noul grup motopropulsor.

5.4.2 Construcția transmisiei cu variație continuă a grupului motopropulsor termic

Transmisia adoptată pentru realizarea în premiera a modelului funcțional al autoturismului *Dacia Duster* este fabricată de către Nissan sub denumirea comercială *X-Tronic CVT*. Ea utilizează un variator cu curea metalică *Van Doorne* (figura 5.17) și este

rezultatul unei cercetări îndelungate de la Nissan încă din anul 1992. Ea este utilizată pe vehicule Nissan, Renault, Dacia Sandero și Dacia Logan.

O transmisie continuu variabilă (CVT) are multe caracteristici atractive, cum ar fi: reducerea consumului de combustibil și a emisiilor poluante; asigurarea unei accelerații line, similare vehiculelor electrice; performanțe dinamice sporite în conducere.

Elementele transmisiei cu variație continuă pot fi împărțite în două grupe principale :

- Sistemul hidro-mecanic de putere, ce realizează transferul și adaptarea fluxului de putere furnizat de motor în funcție de cerințele de moment ale autopropulsării;
- Sistemul hidraulic de acționare a componentelor CVT cu control electronic, ce furnizează energia hidraulică, comandă cuplarea ambreiajelor și reglează raportul de transmitere, funcție de condițiile specifice de funcționare.

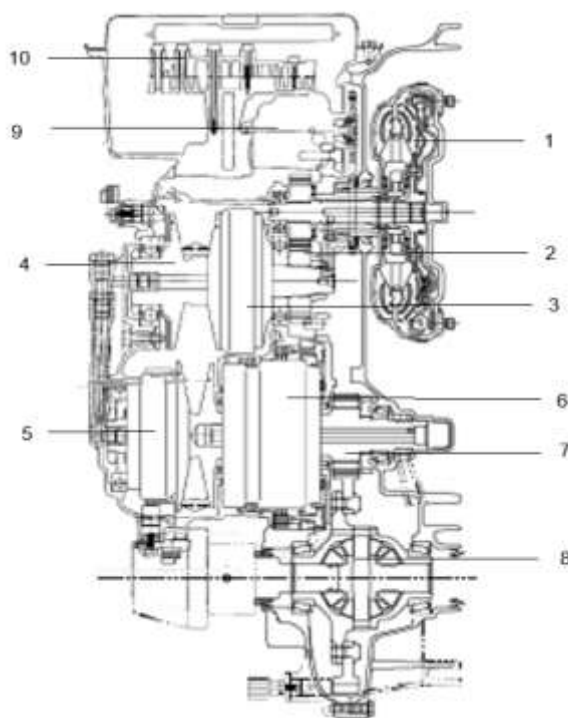


Fig. 5.17 Prezentarea componentelor X-Tronic CVT (DK0) de la Nissan Renault utilizată în cadrul conceptului GASTER PHEV [52]

Sistemul hidro-mecanic de putere include: un hidroconvertizor de cuplu (1) cu dispozitiv de blocare (Lock-up); un angrenaj de adaptare geometrică pentru reducerea dimensiunilor ansamblului (2); un variator de turație cu curea metalică (3), fulia primară (4) și fulia secundară (5); un ansamblu mecanism planetar cu două trepte cu rol și de ambreiaje-inversor (6); un reductor (7); un diferențial (8).

Sistemul hidraulic de acționare a componentelor CVT cu control electronic care vor fi prezentate în descrierea sistemului hidraulic include: pompa de ulei (9), distribuitorul hidraulic (10); cilindrii hidraulici ai fuliei primare (4) și fuliei secundare (5); cilindrii hidraulici de acționare a ambreiajelor mecanismului planetar (6); traductoarele și unitatea electronică de control.

Hydroconvertizorul de la *X-TRONIC CVT* este inserat între motorul termic și restul organelor transmisiei cu variație continuă și permite decuplarea dintre acestea la turații scăzute dar și amplificarea momentului motor peste o anumită turație.

Angrenajul de adaptare are un rol important în realizarea unei arhitecturi compacte a transmisiei *X-TRONIC CVT*, modificând și sensul de rotație al motorului la intrarea în variator. Este un angrenaj de roți dințate cu dantura înclinată, cu raport de transmitere de 0,976.

5.4.3 Construcția și funcționarea variatorului transmisiei cu variație continuă a grupului motopropulsor termic

Variatorul transmisiei *X-TRONIC CVT* este un variator duo simetric, ce utilizează o curea metalică.

El se compune (figura 5.18) din două fulii (primară și secundară) ale căror flancuri conice cu un unghi de 22° au ecartamentul variabil, legate de o curea (1) realizată din elemente metalice, cu secțiune trapezoidală.

Fulia primara este formată din două semifulii coaxiale, semifulia fixă (2) pe arborele primar al variatorului și semifulia mobilă axial (3) pe canelurile arborelui primar; frecările ce apar la deplasarea relativă sunt diminuate printr-un montaj cu bile.

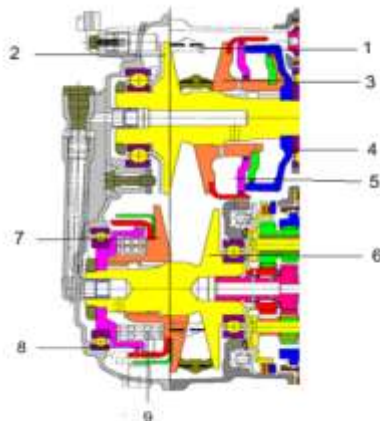


Fig. 5.18 Variatorul transmisiei X-TRONIC CVT utilizată în cadrul conceptului GASTER PHEV. Adaptare după [52]

Flancurile celor două semifulii constituie un canal circular în "V", corespunzător formei trapezoidale a curelei. În spatele flancului semifuliei mobile, este sertizată o piesă cilindrică din tablă ce constituie cămașă cilindrului hidraulic primar (4). Acest cilindru este închis de un piston (5) din tablă ambutisată. La creșterea presiunii uleiului din cilindru, semifulia mobilă (3) se deplasează axial în sensul de micșorare a ecartamentului dintre flancuri.

Fulia secundară condusă, compusă din semifulia fixă (6), ce face corp comun cu arborele secundar al variatorului și semifulia mobilă (7), solidarizată cu cilindrul hidraulic secundar (8), este similară în concepție și dimensiuni cu fulia primară (motoare).

Menținerea curelei întinse în lipsa presiunii din sistemul hidraulic, se realizează de către arcurile elicoidale (9). Legătura între fuliile conducătoare și conduse se face prin elementul intermediar flexibil, inextensibil, reprezentat de cureaua metalică (1). Datorită distanței fixe dintre arborii primar și secundar și a lungimii invariabile a curelei, creșterea

ecartamentului între flancurile uneia dintre fullii, trebuie să fie compensată prin micșorarea ecartamentului celeilalte fullii și reciproc (principiul variatorului duo). Modificarea raportului de transmitere la variatoarele de acest tip se face prin reglarea în opoziție (deplasarea simetrică în diagonală a semifuliilor mobile). Raportul maxim de transmitere este obținut pentru ecartamentul maxim al flancurilor fulliei primare (conducătoare) și minim al flancurilor fulliei secundare (condușe) (figura 5.19 stânga). Raportul minim este obținut procedându-se în sens invers (figura 5.19 dreapta).

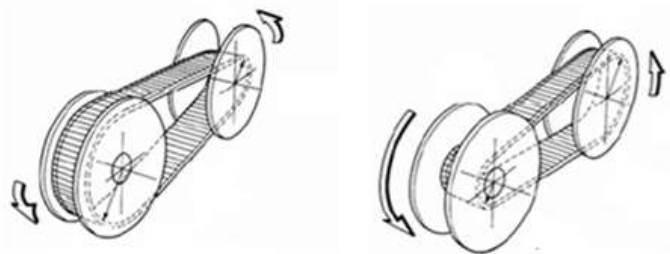


Fig. 5.19 Reglarea raportului de transmitere în cazul variatorului X-Tronic CVT
stanga raport maxim; dreapta raport minim [48]

Cureaua metalică MVB (Metal V Belt) , elementul specific construcției, a fost dezvoltată după anii '70 de dr. Hub Van Doorne din Olanda, fondatorul firmei DAF care a aplicat pentru prima dată la autoturisme variatorul cu curea.

În construcția sa evoluată, cureaua metalică produsă inițial de firma olandeză *Van Doorne's Transmissie* (figura 5.20), este constituită din plachete dispuse transversal (1) de tip eclisă, montate pe două pachete de benzi (2) de înaltă flexibilitate.

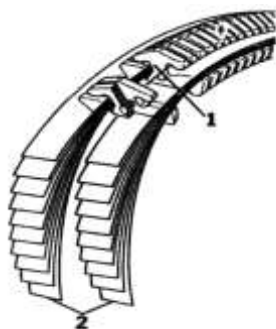


Fig. 5.20 Construcția curelei metalice a variatorului X-Tronic CVT [48]

Rolul principal al celor două pachete de benzi este de a asigura ghidarea ecliselor la transferul acestora de la fullia primară la fullia secundară și forțele de pretensionare în vederea transmiterii momentului motor. Momentul motor transmis de acestea este nesemnificativ (4% din valoarea momentului total). Elementele esențiale ale curelei metalice în transmiterea momentului motor sunt eclisele transversale care se găsesc în contact cu fulliile variatorului.

O particularitate funcțională a curelei metalice o constituie modul de transmitere a forței utile: spre deosebire de curelele clasice din elastomer armat cu fibre înfășurate inextensibile și lanțurile de transmisie, la care forța utilă solictă ramura motoare la tracțiune, în cazul curelei metalice, ramura motoare este solictată la comprimare.

Fiecare din cele două pachete de benzi are în componență câte zece elemente. Benzile de oțel au o grosime de aproximativ 0,18 mm și rezistă la o încărcare de 1,5...2 ori mai mare decât cea dată de forța utilă din curea. Numărul și grosimea benzilor au un rol important în flexibilitatea și capacitatea portantă a curelei. În plus, pentru a conferi curelei o flexibilitate mare în condiții de încărcare maximă și durabilitate comparabilă cu cea a transmisiilor clasice, constructorul a adoptat ca material un oțel utilizat în tehnica spațială maraging.

Din motive de randament maxim și zgomot minim, pachetul de eclise transversale este supus permanent unei forțe de apăsare exercitată de pachetele de benzi.

Parametrii cinematici specifici variatorului mecanic cu curea sunt :

- raportul de transmitere (figura 5.21)
- gama de reglare (figura 5.22)

Stabilirea relațiilor de definire a acestor doi parametri se poate face în următoarele ipoteze :

- distanța între axele de intrare și ieșire ale variatorului a și lungimea curelei L_c sunt constante ;
- cureaua metalică este un element metalic omogen, cu rigiditate sporită pe ramura motoare; arborii și semifuliile sunt rigide;
- fuliile sunt aliniate perfect; cureaua se înfășoară pe fiecare fulie sub forma unor arce de cerc cu razele R_p , R_s ; nu există alunecare între curea și fulii ; semiunghiul fuliei β_v este constant .

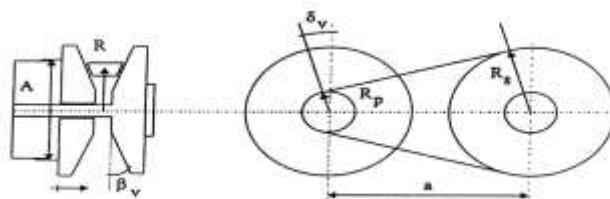


Fig. 5.21 Realizarea raportului de transmitere (i_v) al variatorului mecanic cu fulii de diametru variabil cu element intermediar trapezoidal [48]

Raportul de transmitere (i_v) al variatorului mecanic cu fulii de diametru variabil și element intermediar trapezoidal este dat de relația:

$$i_v = \frac{\omega_p}{\omega_s} = \frac{R_s}{R_p} \quad (5.1)$$

în care: ω_p și ω_s sunt vitezele unghiulare de rotație ale arborilor primar și respectiv secundar; R_p și R_s – razele de dispunere a curelei pe fuliile primară, respectiv secundară.

Gama de reglare (G) a raportului de transmitere a variatorului XTRONIC CVT este definită ca raport între viteza unghiulară maximă, ω_{max} și viteza unghiulară minimă, ω_{min} , posibile ale fuliei secundare a variatorului, adică :

$$G = \frac{\omega_{s,max}}{\omega_{s,min}} = \frac{\omega_{s,max}}{\omega_p} \cdot \frac{\omega_p}{\omega_{s,min}} = \frac{i_{v,max}}{i_{v,min}} \quad (5.2)$$

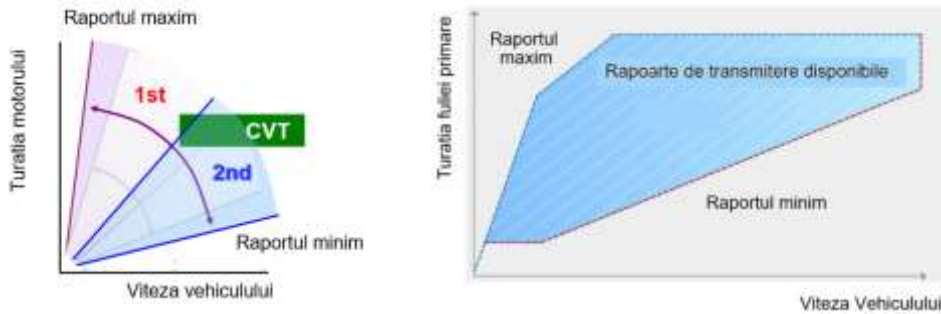


Fig.5.22 Gama de reglare a transmisiei X-Tronic CVT DK0 [53]

Presiunea realizată de pompa de ulei a transmisiei este furnizată cilindrilor hidraulici ai variatorului X-Tronic CVT atât în vederea tensionării curelei ce previne alunecarea acesteia peste fulii cât și pentru reglarea raportului de transmitere.

Evitarea alunecării curelei se face aplicând flancurilor fuliei secundare o forță axială generată de presiunea exercitată asupra cilindrului fuliei secundare p_s de sistemul hidraulic.

Funcționarea în modul secvențial comandată prin levierul selector în poziția D+ este prezentată în figura 5.23

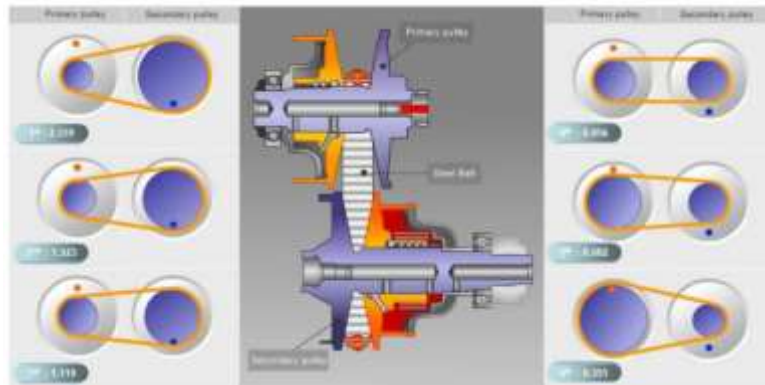


Fig.5.23 Funcționarea variatorului în modul secvențial la X-Tronic CVT [53]

5.4.4 Construcția și funcționarea mecanismului reductor inversor al CVT

Acest subansamblu hidro-mecanic al transmisiei CVT este realizat prin combinarea unui mecanism planetar de tip Ravigneau ce are două rapoarte de transmitere cu două frâne cu discuri multiple și un ambreiaj cu discuri multiple. El are un dublu rol: modificarea raportului de transmitere în două trepte și schimbarea sensului de mers (mersul înapoi), prin inversarea sensului de rotație.

6. Echipamentul electric al sistemului hibrid de propulsie

6.1 Prezentarea generală a echipamentului electric de propulsie

Alegerea componentelor echipamentului electric de propulsie pentru vehiculele electrice și hibride depinde în esență de trei factori, și anume: ciclul de conducere; constrângerile vehiculului; sursa înbarcată de energie.

6.1.1 Arhitectura echipamentului electric al sistemului hibrid de propulsie

Schema electrică a echipamentului electric de propulsie este prezentată în figura 6.1.

Motorul electric (1) este alimentat prin inverterul (2) de la bateria de tracțiune (3) echipată cu sistemul de management BMS (4). Principalele semnale pentru controlul inverterului sunt de la pedala de accelerație (5) de la pedala de frâna (6) și de la butonul selector RND (7). Încărcarea bateriei de tracțiune (3) de la rețea (8) este realizată de încărcătorul înbarcat (9). Încărcarea bateriei auxiliare 12 V (10) este realizată de la bateria de tracțiune (3) prin convertizorul CC/CC (11).

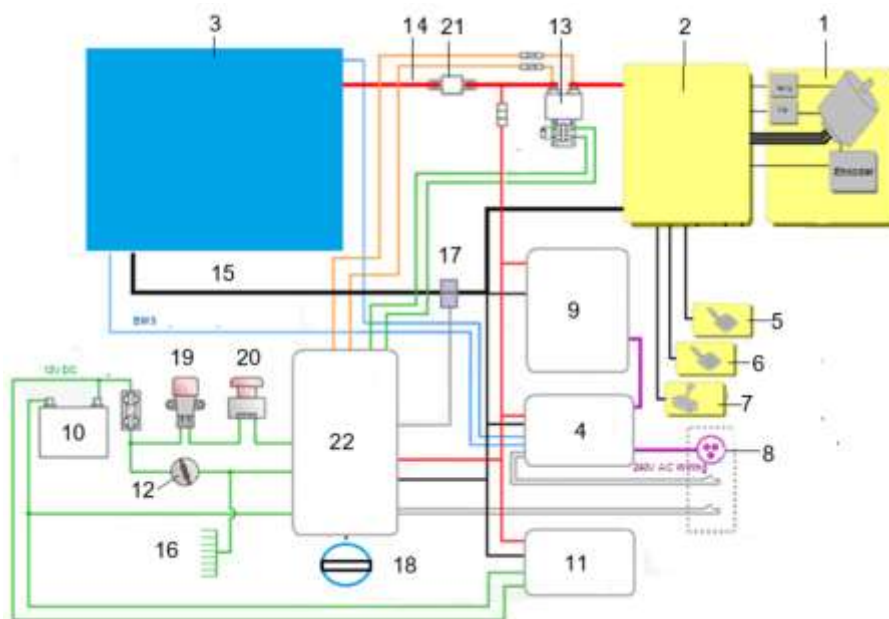


Fig.6.1 Schema electrică a echipamentului electric de propulsie de la conceptul GASTER E4WD

La acționarea cheii de contact (12), prin intermediul contactorului (13) este alimentat prin circuitul de înaltă tensiune (14) (15) inverterul (2) al motorului electric (3) simultan cu celelalte accesorii conectate la circuitul de joasă tensiune 12 V (16). Monitorizarea parametrilor de funcționare se face printr-un sistem ce cuprinde un senzor de curent (17) și un monitor (18). Pentru securitate, sistemul electric mai include un întrerupător inerțială (19), un contactor de urgență (20) și siguranța fuzibilă 400A (21) pe circuitul de înaltă tensiune.

Echipamentul electric de propulsie este conectat la sistemul de gestiune a energiei (22)

6.1.2 Componentele sistemului electric de propulsie

Componentele sistemului electric de propulsie sunt: grupul motopropulsor electric montat în spate, ce include motorul electric și transmisia formată din ansamblul reductor-diferențial și transmisiile planetare; ansamblul inverter–controler al motorului electric; bateria de tracțiune cu sistemul de management (Baterie Management Sistem); sistemul de încărcare al bateriei de tracțiune; sistemul de încărcare al bateriei auxiliare 12V.

6.2 Grupul motopropulsor electric

Grupul motopropulsor al echipamentului electric de propulsie de la *GASTER E4WD* include: un motor electric alimentat din bateria de tracțiune printr-un inverter; o transmisie mecanică cu raport constant care adaptează fluxului de putere generat pe cale electrică la condițiile necesare pentru autopropulsare și îl transmite către roțile motoare din spate.

Grupul motopropulsor electric format din motor și ansamblul reductor - diferențial (1) este montat semi-elastic în trei puncte (două în față și unul în spate) pe un cadru suplimentar nou construit (2) fixat în spate de structura de rezistență a caroseriei (figura 6.2).



Fig.6.2 Grupul motor electric asincron și transmisia ce înglobează reductorul și diferențialul montate pe un cadru nou construit adaptat la vehiculul Duster 4X2

6.2.1 Motorul electric al sistemului electric de propulsie

O mașină electrică destinată unui vehicul electrificat poate funcționa în două moduri:

- modul motor prin dezvoltarea unui moment motor activ la autopropulsare pe baza energiei electrice din bateria de tracțiune și;
- modul generator prin dezvoltarea unui moment motor rezistent în perioadele de frânare când energia cinetică/potențială este convertită în energie electrică care este transferată la sursa de stocare (bateria de tracțiune).

În domeniul vehiculelor electrice și hibride termice - electrice, sunt utilizate cu preponderență mașini sincrone cu magneți permanenți (MSMP) și mașini asincrone (MAS)

Utilizarea mașinilor sincrone cu magneți permanenți (MSMP) necesită un mecanism de decuplare de la transmisia către roțile motoare în perioada funcționării hibridului în mod termic.

Pe baza experiențelor anterioare *Nova Hibrid* [5], *Logan Hibrid* [6], *Grand Sandero Hybrid Utility Vehicle* [7], la care am construit o transmisie cu sistem de decuplare a motorului electric și două trepte de viteze, pentru conceptul *GASTER Electricway 4WD* am ales soluția de transmisie cu raport constant, similar soluției experimentată în perioada 2011

– 2014 pe conceptul *Grand Hamster E4WD*. Această alegere a fost influențată și de costul de achiziție, gabaritul ansamblului și simplitatea transmisiei, care include doar un reductor, un diferențial și doi arbori planetari.

Motorul electric asincron (1), utilizat la conceptul *GASTER E4WD* este preluat de la un alt concept *GRAND HAMSTER PHEV*. El a fost fabricat de MES – DEA, Elveția și este răcit cu lichid. Asociat cu invertorul TIM 400 (Traction Inverter Module) funcționează într-un domeniu de tensiune între 180 V și 235 V.

Motorul electric (1) este alimentat prin invertorul (2) de la bateria de tracțiune. Principalele semnale pentru controlul invertorului sunt de la pedala de accelerație (5), de la pedala de frâna (6) și de la butonul selector RND (7).

Acest motor electric dezvoltă: o putere continuă de 18 kW (24,5 CP) și cuplu 90 Nm @ 2850 rpm; o putere de vârf 31 kW (42 CP) și cuplu 160 Nm.

Puterea a fost determinată pentru a asigura utilizarea modului complet electric pentru viteze mai mici sau egale cu 80 km/h, care reprezintă de obicei condițiile de utilizare urbană a unui vehicul.

Invertorul cu control vectorial acționează asupra motorului electric prin reglarea curentului de la bateria de tracțiune pentru a răspunde cerințelor șoferului.

6.2.2. Transmisia motorului electric

Transmisia motorului electric este fabricată de firma italiană CARARO și este compusă dintr-un reductor și un diferențial, montate într-o carcasă comună (1).

Pentru transmiterea fluxului de putere către roți și adaptarea pe vehicul, ea este completată cu două transmisii planetare nou construite (2) cu componente preluate de la Dacia Duster 4X4.

Transmisia motorului electric este prezentată în figura 6.6.



Fig.6.6 Transmisia motorului electric ce înglobează ansamblul reductor-diferențial și transmisiile planetare

6.2.3 Sistemul de control al motorului electric

Sistemul de control al motorului electric este de asemenea produs de MES-DEA.

Acest TIM (Traction Inverter Module) este cu control vectorial fiind special conceput pentru vehiculele electrice și hibride.

El are rolul de a converti curentul continuu furnizat de bateria de tracțiune în curent alternativ trifazat, în vederea alimentării motorului electric al sistemului de propulsie și de a controla în funcție de semnalele primite regimul de funcționare al acestuia.

Cu ajutorul softului practic SUPERVISOR a fost posibilă monitorizarea diferitelor variabile ale sistemului de tracțiune și modificarea parametrilor device-ului pentru a obține cea mai bună programare a sistemului.

Algoritmul de control al motorului este de tip vectorial cu un control indirect asupra cuplului și control direct asupra turației în bucla închisă.

6.2.4 Sistemul de răcire al motorului electric și al sistemului de control

Disiparea căldurii generate de inverterul (TIM) și motorul electric este realizată de către un sistem de răcire cu lichid, ce lucrează la joasă temperatură 60 ° C. El include o pompa de recirculare, o tubulatură rigidă și furtunuri și cu un vas de expansiune.

Sistemul de răcire a fost validat pe standul construit pentru încercări preliminare și calibrare a inverterului – controler al motorului electric (figura 6.9).



Fig. 6.9 Testarea pe standul de încercare și calibrare preliminară a circuitului de răcire al echipamentului MES DEA

6.3 Bateria de tracțiune a echipamentului electric

6.3.1 Generalități

Bateria de tracțiune pentru vehiculele electrificate reprezintă sursa de curent electric continuu de înaltă tensiune. Ea este de tip reîncărcabil și este formată din celule electrochimice în care este înmagazinată energia electrică.

Funcționarea celulelor se bazează pe apariția unei tensiuni electromotoare realizată pe cale chimică, care este obținută prin asocierea a doi electrozi, electrodul pozitiv, numit catod și electrodul negativ numit anod cufundați într-un electrolit acid sau bazic de tip lichid, gel sau solid. Electrozii sunt realizați din materiale diferite din punct de vedere electrochimic și sunt izolați electric printr-un separator. Electrolitul asigură transportul energiei electrice prin conducție ionică.

Caracteristicile și poziția acumulatorului litiu-ion în diagrama Ragone (figura 6.11) privind energia și puterea specifică stocată, justifică de ce acest tip de baterie este cel mai utilizat în construcția de vehicule electrice și hibride racordabile la rețea (Plug-in).

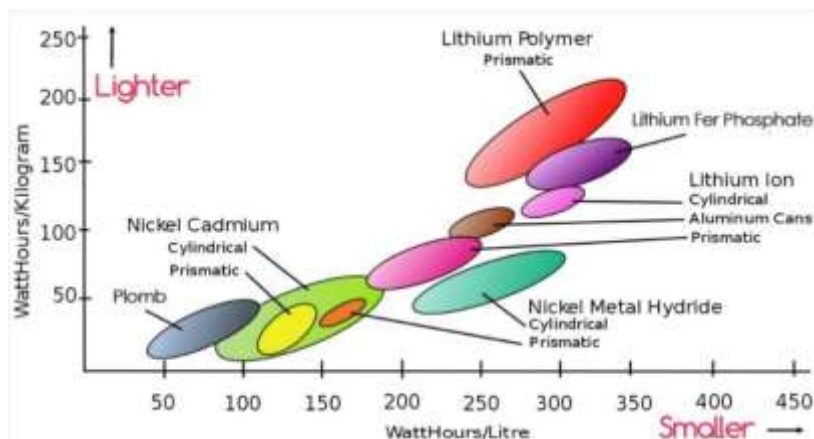


Fig. 6.11 Diagrama Ragone pentru diferite surse de alimentare [63]

Dintre toate alternativele comercializate în ultimii 20 de ani, patru tipuri de baterii pe bază de litiu acoperă cea mai mare parte a pieței auto de astăzi: NMC, NCA, LFP și LiPo.

Diferențierea între tehnologiile litiu-ion se face prin soluțiile chimice pentru electrozi.

În cadrul proiectului ne-am orientat către tipul de baterie cu litiu LFP.

Utilizarea tehnologiei LFP (LiFePO_4) este în creștere, în special de către producătorii chinezi pe propria lor piață, unde LFP reprezintă 64% din producție. Interesul principal se referă la prețul său atractiv, cu 30% - 40% mai mic decât al tehnologiei NMC datorită costului relativ scăzut și a disponibilității largi a fosfatului de fier, precum și a absenței nichelului și cobaltului. În comparație cu tehnologia NMC, LFP-urile au, de asemenea, caracteristici de siguranță superioare și durată mare de viață.

Din considerente legate de gabarit, securitate în funcționare și posibilități de achiziție, la cercetările noastre, am adoptat tipul de celulă LiFePO_4 de tipul prismatic. Un avantaj major al acestui tip de celulă este faptul că nu necesită răcire forțată, ceea ce simplifică sistemul de răcire al echipamentului electric.

6.3.2 Caracteristicile unei baterii de tracțiune

Caracteristicile unei baterii de tracțiune sunt următoarele: Capacitatea (Ah); Starea de încărcare – SOC (în procente %); Adâncimea de descărcare – DOD; Rata C; Acceptarea dinamică de încărcare (DCA); Tensiunea (V); Energia specifică (Wh/kg); Densitatea de energie (Wh/l); Puterea specifică (W/kg); Densitatea de putere (W/l); Numărul de cicluri; Curentul maxim de descărcare (A) sau (C); Rata de autodescărcare (%/lună); Eficiența coulombică – CE (%); Eficiența coulombică, sau CE (%).

6.3.3 Construcția bateriei de tracțiune

Pentru alimentarea motorului electric este utilizată o baterie Litiu Fosfat de Fier (LFP) de 205 V iar pentru încărcarea acesteia de la rețeaua 220V-16 A un încărcător îmbarcat, dotat cu sistem electronic de supraveghere a încărcării.

Este prevăzut ca bateria de tracțiune să fie amplasată în portbagaj deasupra punții din spate.

Ansamblul bateriei de tracțiune cu inverter – controlerul motorului electric, BMS - ul și încărcătorul bateriei auxiliare de 12 V este prezentat în figura 6.12.



Fig. 6.12 Bateria de tracțiune și componente ale sistemului electric de propulsie montate pe o carcasa – șasiu

Componentele bateriei de tracțiune sunt următoarele: Carcasa bateriei de tracțiune formată dintr-un cadru - șasiu cu elemente de închidere izolate electric ; ea conține tije izolate electric care stâng pachetele de celule; Ansamblul de celule și elementele de interconectare electrică; Întrerupătorul de securitate intern cu acționare exterioară (Plug Service); Releul cu contacte pentru cuplarea bateriei de tracțiune la restul sistemului electric (controlerul și inverterul, motorul electric); Siguranța circuitului de putere și înaltă tensiune.

Bateria de tracțiune este formată din 64 de celule prismatice de litiu fosfat de fier (LiFePO4) tip EVE LF100LA m sunt conectate în serie montate în serie.

Ansamblul de celule al bateriei de tracțiune sunt fixate în carcasa bateriei de tracțiune în poziție verticală pentru a facilita montajul și pentru a putea monitoriza cât mai ușor fiecare dintre celule. Celulele sunt conectate în serie.

6.3.4 Sistemul de management al bateriei de tracțiune (Battery Management System)

Sistemul de management (BMS) ales pentru bateria de tracțiune este de tip Orion. El protejează și monitorizează celulele bateriei prin intermediul unor senzori pentru a controla încărcarea și descărcarea bateriei. BMS-ul controlează tensiunea curentului electric în și în afara bateriei prin supravegherea limitelor de încărcare și descărcare.

6.3.5 Întrerupătorul de securitate intern cu acționare exterioară (Plug Service)

Întrerupătorul de securitate intern cu acționare exterioară de tip Gigavac HBD41AA 1000V 400A este un comutator de întreținere ce permite deconectarea manuală a bateriei de

tracțiune când se efectuează lucrări de mentenanță și în alte situații de nefuncționare, în securitate, fără prezența alimentării circuitului de înaltă tensiune.

6.3.6 Releul cu contacte pentru cuplarea bateriei de tracțiune la echipamentului electric de propulsie

La punerea cheii de contact și alegerea poziției de mers în mod electric bobina contactorului general determină închiderea circuitului de înaltă tensiune, alimentând inverterul motorului electric.

Contactorul general de tip Gigavac GX16BEB este montat împreună cu siguranța de putere pe circuitul + de înaltă tensiune, care alimentează inverterul.

6.3.7 Siguranța circuitului de înaltă tensiune

Siguranța circuitului de înaltă tensiune are rolul de a proteja sistemul electric de daune cauzate de fluxul excesiv de curent. Siguranța este de tip PEC 60A 500V DC și este fabricată din materiale de înaltă calitate și are o construcție durabilă. Ea este instalată în vecinătatea contactorului.

6.3.8 Monitorizarea parametrilor de funcționare ai bateriei de tracțiune și motorului electric

Parametrii de funcționare ai bateriei de tracțiune și a motorului electric, sunt monitorizați și afișați prin intermediul a trei instrumente compatibile cu BMS Orion: indicatorul nivelului de încărcare al bateriei de tracțiune, indicatorul dublu pentru măsurarea temperaturii bateriei de tracțiune și temperaturii motorului electric și indicatorul dublu pentru măsurarea intensității curentului electric.

6.4 Sistemele de încărcare ale bateriilor

Conceptul GASTER E4WD PHEV este echipat cu doua baterii ce deservește rețeaua de înaltă tensiune 205V (bateria de tracțiune) și rețeaua de joasă tensiune 12V (bateria auxiliară).

Bateria de tracțiune 205V este reîncărcată: în mers în mod electric în perioadele de frânare regenerativă și în staționare cu ajutorul unui încărcător îmbarcat 220 V CA/205 V CC.

Pentru încărcarea bateriei auxiliare 12 V la funcționarea în mod electric a fost adoptat un încărcător 205 V CC/ 14 V CC.

6.4.1 Încărcarea bateriei de tracțiune de înaltă tensiune

Bateria de tracțiune a conceptului *GASTER E4WD PHEV* poate fi încărcată în mod clasic prin cablu (conducție) și are următoarele componente: încărcătorul îmbarcat; priza de încărcare tip 2 ; cablul de încărcare în curent monofazat.

Pentru încărcarea bateriei de tracțiune a conceptului a fost adoptat un încărcător electronic ZIVAN NG 3.

Priza de încărcare aleasă pentru conceptul GASTER E4WD PHEV (figura 6.19) este o priză BS-EVSC004 care îndeplinește standardul european al UE IEC 62196-2 2010 BLATT 2-IIb (Mennekes, tip 2).



Fig. 6.19 Priza de încărcare a conceptului GASTER E4WD PHEV

Pentru conectarea vehiculului la sursa de încărcare 240 V CA a fost utilizat un cablu compatibil cu modul de încărcare 2, cu construcție adaptată la componentele sistemului de încărcare și cel al controlului încărcării de la BMS ORION.

El este dotat la extremități cu doi conectori: unul de tip 2 Mennekes în partea de cuplare cu vehiculul și unul de tip industrial pentru curent monofazat în partea de cuplare cu sursa de alimentare.

6.4.2 Sistemul de încărcare a bateriei auxiliare de 12V

Având în vedere faptul că vehiculul poate funcționa în mod electric cca 50 km a fost necesară integrarea unui încărcător pentru bateria auxiliară de 12 V (figura 6.14)

Pentru încărcarea bateriei de 12 V în perioadele de funcționare în mod electric a fost ales un convertizor CC 205 V/ 14 VCC TCC 1000W.

7. Descrierea aparaturii de cercetare și determinări experimentale

7.1 Aparatura pentru calibrarea sistemului electric de propulsie

Pentru calibrarea sistemului electric de propulsie în acord cu bateria de tracțiune aleasă a fost utilizat SOFTWARE SUPERVISOR de la MES DEA care este interfața operatorului cu inverterul. El servește la reglarea funcțiilor de propulsie și permite vizualizarea caracteristicilor dinamice (figura 7.1).

Comunicarea între computer și inverter se realizează prin conexiune serială RS-232

Software-ul este dezvoltat în LabView și este compatibil cu diverse sisteme de operare: Microsoft Windows Vista, XP, 2000, 98SE.

Sistemul a fost setat cu diverse protecții precum: tensiunea minimă și maximă de intrare în rețeaua de curent continuu, curentul maxim de alimentare în timpul procesului de autopropulsare sau de frânare recuperativă, viteza maximă, accelerație și decelerație maximă etc.

Inverterul controlează tracțiunea direct de la semnalele primite.

Momentul motor furnizat de motor este direct proporțional cu semnalul primit de la pedala de accelerație.

O setare corectă a procesului de frânare regenerativă permite simularea unei frâne “de motor” agreabile, similară celei prezente la vehiculele propulsate de motoare termice cu ardere internă, dar cu avantajele recuperării energiei în timpul decelerațiilor și la coborârea pantelor și creșterii fiabilității sistemului de frânare.

Algoritmii de control al motorului este de tip vectorial cu un control indirect asupra cuplului și control direct asupra turației în bucla închisă.



Fig.7.1 Aspecte de la testele de calibrare ale inverterului TIM 400 al motorului electric

Sistemul a fost validat pe un banc construit pentru testele de calibrare a inverterului motorului electric. Acest stand asigură aceleași condiții de funcționare ca pe vehicul iar răcirea motorului electric și a inverterului este asigurată prin lichid folosind un radiator specific și un circuit de temperatură joasă la 60°C.

7.2 Experimente pentru testarea sistemului hibrid de propulsie

Referitor la baza de cercetare necesară efectuării determinărilor experimentale ale sistemului hibrid de propulsie tip E4WD, în cadrul proiectelor anterioare am realizat: adaptarea unui stand cu rulouri de tip SCHENK aflat în dotarea Laboratorului *Sisteme Alternative de Propulsie* din cadrul Centrului de cercetare *Ingineria Automobilului*.

Ațiunea a debutat în cadrul proiectului anterior intitulat *Sistem de propulsie hibrid pentru un autoturism ecologic*, Grant CNCSIS 776/2004-2005) și am modernizat și dezvoltat un sistem de măsurare, achiziție și prelucrare a datelor experimentale pentru încercări dinamice pe stand și stradă.

Pentru cercetări experimentale cu conceptul GASTER PHEV pe standul cu rulouri, ce permite încercări după cicluri standard și specifice, în vederea determinării performanțelor de tracțiune și consum a fost realizată o altă versiune a sistemului de propulsie, cu o organizare specifică (figurile 7.3, 7.4).

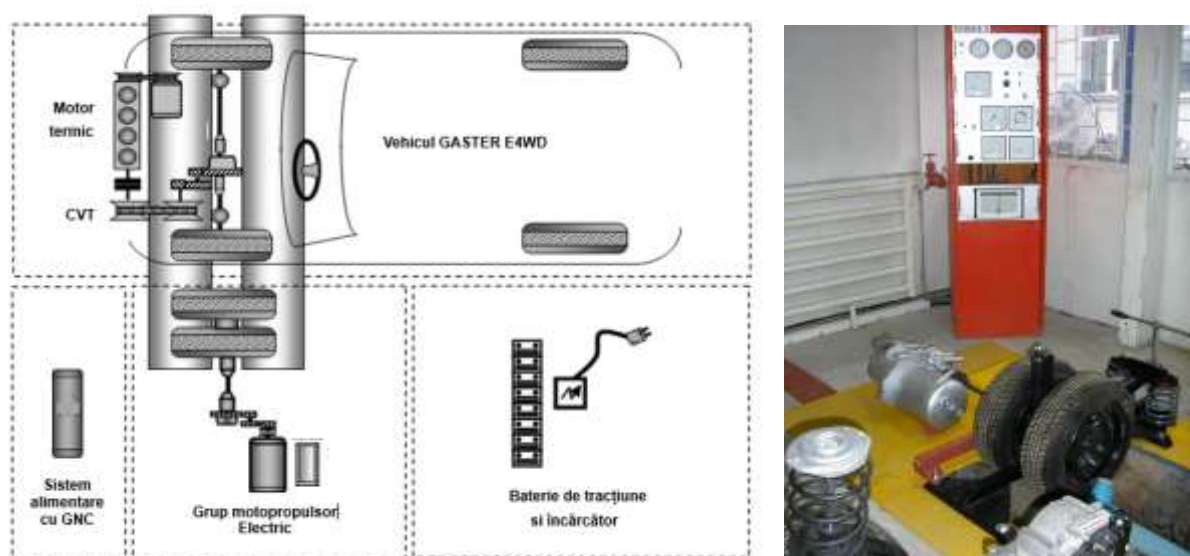


Fig.7.3 Standul cu rulouri pentru primele teste de încercare a sistemului hibrid de propulsie și puntea din spate falsă antrenată de grupul motopropulsor electric, proiectată pentru încercarea pe acest standul dinamometric cu o singură pereche de rulouri

7.3 Aparatura de încercare și experimentele realizate în poligonul Merișani

Încercările de drum ale conceptului *GASTER E4WD* în poligonul Registrului Auto Roman de la Merișani (figura 7.4)



Fig. 7.4 Modelul funcțional al conceptului GASTER E 4WD ce a realizat primele teste în poligonul Registrului Auto Roman de la Merișani

Pentru început au fost realizate testele de măsurare a maselor conceptului cu noul sistem hibrid de propulsie în conformitate cu regulamentul (UE) nr. 1230/2012 [72].

În etapa a II-a în poligonul Registrului Auto Roman de la Merișani au fost efectuate teste pentru verificarea funcționării ansamblului vehicul pentru a verifica comportamentul noii arhitecturi realizate cu alte subansambluri montate pe acesta, altele decât cele originale, anume: motor H4M alimentat cu benzină la aceste prime teste în loc de motorul diesel original; transmisie automată cu variație continuă X- Tronic, în loc de transmisie automata cu dublu ambreiaj DHT originală; punte motoare electrificată în loc de punte nemotoare; masa suplimentară datorată echipamentului electric de propulsie format din bateria de tracțiune, grup motopropulsor electric

7.3.1 Echipamentul de măsurare și achiziții date Datron CORREVIT L400 [75], [76]

Echipamentul de măsurare și achiziții date *Datron L400* fără contact cu solul este destinat încercărilor dinamice ale autovehiculelor.



Fig. 7.6 Dispunerea echipamentului de măsurare și achiziții date *Datron L400* cu senzor fără contact cu solul

Echipamentul *Datron CORREVIT L400* a fost folosit la înregistrarea parametrilor și furnizarea bazei de date aferente următoarelor teste conform regulamentelor in vigoare [73], [74], (figura 7.6) Test demarare până la viteza maximă (0 – Vmax) (figura 7.7); Test decelerare de la viteza maximă până la oprire (Vmax_ la 0 Km/h) (figura 7.8); Test de frânare de la 40km/h până la oprire (figura 7.9); Test de frânare de la 60km/h până la oprire (figura 7.10).

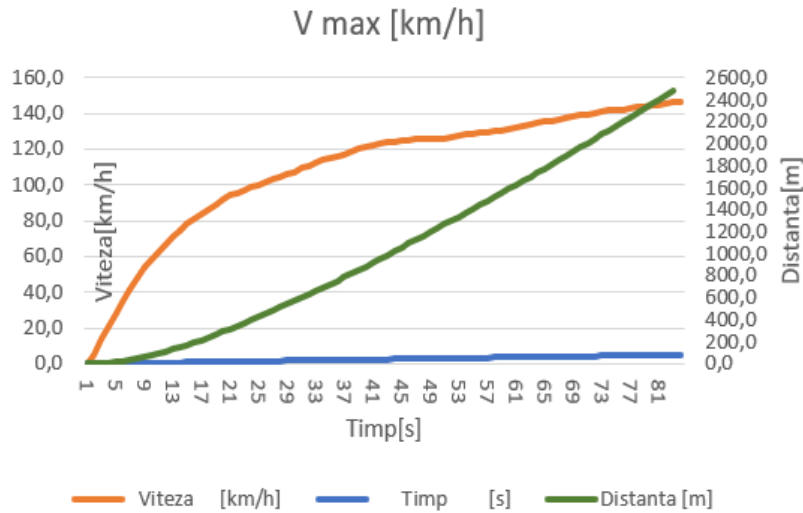


Fig. 7.7 Test demarare până la viteza maximă (0 – Vmax)

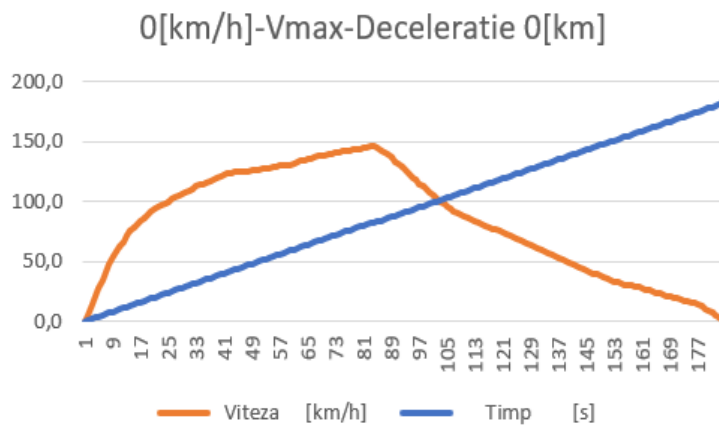


Fig. 7.8 Test de frânare de la viteza maximă până la oprire (Vmax_ la 0 Km/h)

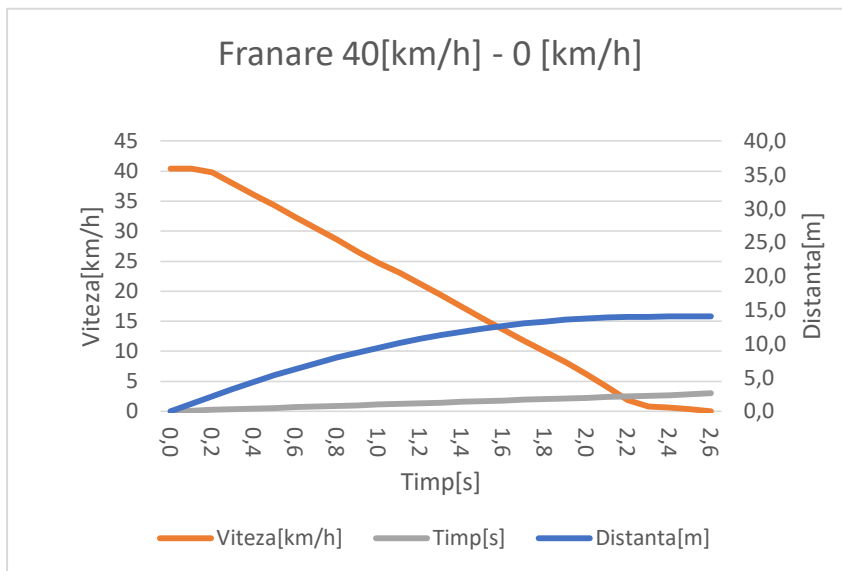


Fig. 7.9 Test de frânare de la 40km/h până la oprire

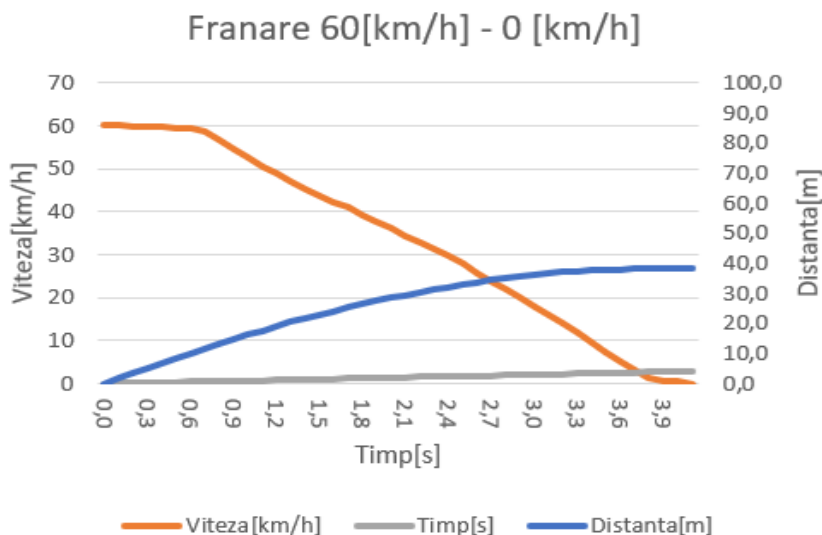


Fig. 7.10 Test de frânare de la 60km/h până la oprire

7.3.2 Echipamentul de măsurare și achiziții date VBOX

Echipamentul de măsurare VBOX [75] tip 3i RTK, este un echipament folosit la înregistrarea parametrilor pentru Vmax GASTER E4WD concept. Acest echipament (figura 7.11) poate valida, având o acuratețe foarte mare, aproape orice sistem avansat de asistență în conducere aflat în dotarea autovehiculelor.



Fig. 7.11 Echipamentul de măsurare și achiziții date VBOX [77]

Echipamentul de testare VBOX conectat la GPS (figura 7.12) este folosit de producătorii de vehicule din întreaga lume pentru a măsura viteza, poziția și distanța parcursă. Aplicațiile tipice includ testarea accelerației și decelerației, măsurarea accelerației laterale în viraje, evaluarea performanței vehiculului și testarea în deplasare în viteză.



Fig. 7.12 Echipamentul de măsurare VBOX tip 3i RTK dispus în vehicul în timpul testelor din poligonul de încercări de la Merișani

Echipamentul V Box a fost utilizat pentru verificarea acurateții măsurătorilor cu echipamentul DATRON dar și pentru înregistrări dinamice diverse (figura 7.13).

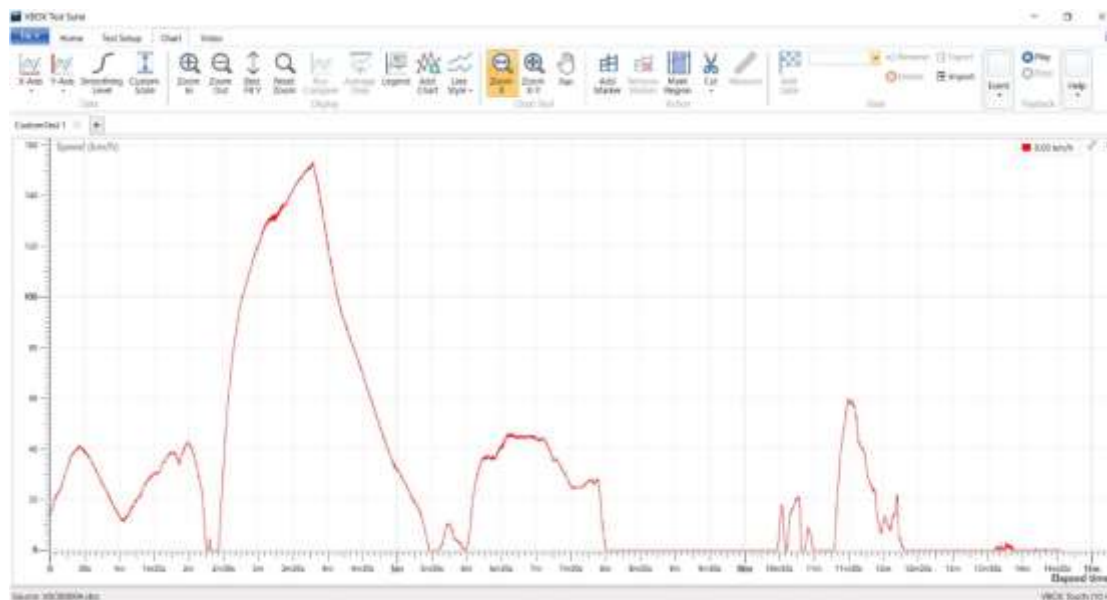


Fig. 7.13 înregistrări dinamice diverse cu echipamentul VBox

8. Concluzii finale și cercetări viitoare

În cadrul primului capitol se evidențiază că pentru reducerea emisiilor poluante la vehiculele utilitare sportive (SUV-urile), în creștere în ultimii ani, este nevoie de cel mai mare grad de integrare a hibridizării.

De aceea în cadrul tezei, în urma unui studiu preliminar al soluțiilor existente, ne-am orientat către soluția de hibrid cu doi arbori, de tip divizat compatibil cu vehiculul de tip SUV *Dacia Duster* ales pentru realizarea modelului funcțional.

Pe lângă rezolvarea cerințelor impuse SUV-urilor legate de reducerea emisiilor care contribuie la încălzirea globală, această versiune hibridă realizată prin inserarea unei mașini electrice pe puntea din spate, conduce la îmbunătățirea comportamentului dinamic al vehiculului prin tracțiunea integrală.

Conceptul numit *GASTER ELECTRICWAY 4WD (E4WD)* a fost realizat într-o arhitectură originală, arhitectură care nu se găsește încă în fabricația de serie *Dacia-Renault Duster*.

Proiectul se încadrează în direcția pe care laboratorul *Sisteme Alternative de Propulsie – Vehicule Electrice și Hibrice* al centrului de cercetare *Ingineria Automobilului*, a dezvoltat încă din anul 2002 proiecte bazate pe electrificarea vehiculelor Dacia. (*Dacia Nova*, *Dacia Logan berlina*, *Dacia Logan MCV*, *Dacia Sandero* și *Dacia Duster*).

În cadrul capitolului 2 se face o trecere în revistă a sistemelor hibride de propulsie de tip serie, de tip paralel, de tip serie-paralel și de tip divizat, pentru alegerea soluției tehnice.

În cazul vehiculelor hibride cu tracțiune integrală și sistem de propulsie divizat, motorul termic antrenează una din punți, de regulă puntea din față, iar mașina electrică principală ce poate asigura autopropulsarea antrenează cealaltă punte, de regulă puntea din spate.

Arhitectura sistemului hibrid cu tracțiune integrală aleasă pentru vehiculul funcțional E4WD de tip paralel cu grup motopropulsor termic convențional în față și grup motopropulsor electric în spate, este cea a hibridului paralel tip P4.

Un exemplu bazat pe această arhitectură este sistemul *Electricway 4WD* dezvoltat la Centrul de cercetare *Ingineria Automobilului* și aplicat pe un vehicul *Dacia DUSTER* numit *Grand Hamster E4WD* în anul 2011.

Pentru acest proiect a fost creată o versiune originală a punții din spate, cu traversă torsionată, antrenată de un grup motopropulsor ce include o mașină electrică (motor-generator) de tip asincron, un reductor, un diferențial și doi arbori planetari. Ea va fi soluția tehnică de bază dezvoltată în cadrul tezei.

În cadrul capitolului 3 este efectuat un calcul dinamic al autovehiculului plecând de la definiția ecuației generale de mișcare. Sunt analizate performanțele de consum de energie electrică ale autovehiculului în cazul parcurgerii ciclului NEDC în mod electric.

Analiza detaliată a funcționării autovehiculului a permis determinarea consumului de energie, evaluarea regimului de funcționare a motorului electric și determinarea autonomiei pentru configurația curentă.

Pentru determinarea accelerației maxime și a celei instantanee au fost analizate valorile necesare ale forței de tracțiune (reacțiunea tangențială longitudinală) pentru

parcursul traseului stabilit fără alunecarea roților motoare. Au fost investigate și performanțele la demarare pentru determinarea vitezei maxime de deplasare și a spațiului de demarare. De asemenea este calculat consumul de energie necesar pentru efectuarea demarajului.

În cadrul capitolului 4 este prezentată realizarea modelului funcțional al conceptului *GASTER E4WD PHEV* construit pe un vehicul *Dacia Duster 4X2* pus la dispoziție de *Renault Technologie Roumanie*. Conceptul a fost realizat în cadrul laboratorului *Sisteme Alternative de Propulsie–Vehicule Electrice și Hibrice* din centrul de cercetare *Ingineria Automobilului*.

Adaptarea sistemului hibrid la autoturismul SUV *Dacia Duster* s-a realizat ținând cont de compatibilitatea geometrică și funcțională a motoarelor, transmisiilor și a punților motoare precum și de disponibilitatea geometrică a părții din față și a părții din spate de a integra noile grupuri motopropulsoare. Restricțiile impuse la demararea proiectului au vizat în special păstrarea integrală a structurii de rezistență a caroseriei în zonele în care sunt integrate noile componente ale sistemului hibrid și a mecanismelor de ghidare ale punților. De asemenea s-a urmărit ca sistemele de direcție, suspensie și frânare să fie adaptate noului sistemului hibrid.

Modurile de funcționare posibile ale conceptului hibrid sunt: parcare cu încărcarea bateriei de tracțiune de la rețeaua electrica; pornire din loc în mod electric; deplasarea la viteze mici în mod electric; deplasarea în mod termic cu recuperarea energiei excedentare pentru reîncărcarea bateriei; deplasarea în condiții normale în mod termic; accelerație intensă obținută cu ambele motorizări; tracțiune integrală cu ambele motorizări *Electricway 4WD*; frânare regenerativă; oprire cu încetarea funcționării motoarelor. În această fază de dezvoltare a proiectului, funcționarea simultană a motoarelor pentru asigurarea tracțiunii integrale nu este disponibilă. Ea poate fi accesată numai la viteze mici și pe căi cu aderență scăzută

În cadrul capitolului 5 este realizată prezentarea echipamentului termic de propulsie al sistemului hibrid. El este format dintr-un motor termic compatibil cu vehiculul de baza *Dacia Duster* de tip Renault H4M și o transmisie automată cu variație continuă CVT Nissan X-Tronic.

Motorul termic Renault H4M cu 4 cilindri, 1,6 litri a fost adaptat la alimentarea cu Gaz Natural Comprimat printr-o instalație secvențială dintr-un ansamblu de 2 butelii și, în caz de urgență (lipsă GNC), cu benzină dintr-un rezervor nou construit, de tip etanș. Acest mod de alimentare constituie o premieră, ea negăsindu-se în fabricația de serie *Dacia*.

Transmisia conceptului *GASTER PHEV E4WD* este o transmisie automată cu variație continuă care oferă și posibilitatea funcționării în mod secvențial. Aceasta soluție constituie o altă premieră, ea negăsindu-se în fabricația de serie *Dacia Duster*.

Acest tip de transmisie a fost adoptat deoarece prin multitudinea de valori și variația continuă a raportului de transmitere, realizat în mod automat de transmisia cu variație continuă (CVT), pot fi urmărite curbele de utilizare optimă a motorului M_E , M_S , astfel încât în funcție de dorința conducătorului să fie favorizată fie economicitatea fie dinamicitatea autoturismului.

Adaptarea transmisiei automate de tip CVT la conceptului *GASTER PHEV E4WD* s-a realizat ținând cont de compatibilitatea geometrică și funcțională a motorului, transmisiei și punții motoare față, precum și de disponibilitatea geometrică a compartimentului față de a integra noul grup motopropulsor.

În cadrul capitolului 6 este prezentat echipamentul electric de propulsie ce conține: mașina electrică, convertorul de putere și comenzile acestuia și sursa de energie - bateria de tracțiune.

Grupul motopropulsor electric este preluat de la conceptul anterior dezvoltat în cadrul laboratorului, *Grand Hamster E4WD* și este format dintr-un motor electric asincron, un ansamblul reductor-diferențial și este montat semi-elastic în trei puncte pe un cadru suplimentar nou construit fixat în partea din spate, de structura de rezistență a caroseriei.

Alegerea mașinii electrice (motor/generator) de tip sincron s-a făcut datorită faptului că ea nu necesită decuplarea mecanică la funcționarea în mod termic, ca în cazul mașinii sincrone. Această alegere a permis simplificarea transmisiei asociată mașinii electrice.

Bateria de tracțiune aleasă în cadrul proiectului este de tip litiu fosfat de fier (LiFePo4). Acest tip de baterie cu litiu este din ce în ce mai preferată de constructorii de vehicule electrice datorită prețului scăzut și a performanțelor ridicate. Ea este constituită din 64 celule LFP de 100 Ah și are o capacitate energetică de 20kWh. Sistemul de management al bateriei (BMS) este un sistem evoluat față de soluțiile anterioare dezvoltate în cadrul laboratorului. Sistemul de încărcare al bateriei include un nou tip de cablu și un nou tip de priză (tip 2).

În cadrul capitolului 7 este prezentată aparatura de cercetare și testele efectuate. Pentru calibrarea sistemului electric de propulsie în acord cu bateria de tracțiune aleasă a fost utilizat SOFTWARE SUPERVISOR de la MES DEA care este interfața operatorului cu inverterul. El servește la reglarea funcțiilor de propulsie și permite vizualizarea caracteristicilor dinamice. Comunicarea între computer și inverter s-a realizat prin conexiune serială RS-232. Software-ul este dezvoltat în LabView și este compatibil cu diverse sisteme de operare: Microsoft Windows Vista, XP, 2000, 98SE.

Pentru încercarea modelului funcțional pe calea de rulare a fost utilizat poligonul Registrului Auto Roman de la Merișani. În prima fază au fost realizate teste legate de verificarea funcționării conceptului în noua arhitectură. Acestea au dovedit un bun comportament al funcționării noii combinații. Au urmat testele de măsurare a maselor vehiculului și a gârzii la sol. Creșterea de masă totală nu va influența procesul frânării datorită faptului că pe lângă sistemul clasic de frânare, vehiculul dispune de frânare recuperativă ce contribuie la decelerare, așa cum au demonstrat testele ulterioare.

Aparatura de încercare pentru experimentele dinamice sunt: *DATRON CORREVIT* cu senzor fără contact L400 și *VBox i3 RTK*. Testele dinamice efectuate în poligon au fost realizate numai la funcționarea în mod termic cu motorul alimentat cu benzină. Testele realizate cu echipamentul *DATRON CORREVIT* au fost: test demarare până la viteza maximă (0 – Vmax); test decelerare de la viteza maximă până la oprire (Vmax_ la 0 Km/h); test de frânare de la 40km/h până la oprire; test de frânare de la 60km/h până la oprire.

Testele realizate cu echipamentul *VBox i3 RTK* au fost necesare pentru verificarea acurateții măsurătorilor cu echipamentul anterior, iar rezultatele s-au dovedit corecte.

Contribuții personale și cercetări viitoare

Contribuții personale

Lucrarea a încercat să surprindă cele mai importante aspecte privind dezvoltarea unui concept de vehicul utilitar sportiv, care să permită reducerea emisiilor poluante și realizarea tracțiunii integrale, prin echiparea lui cu un sistem de propulsie hibrid de tip termic–electric.

Pentru realizarea acestui obiectiv lucrarea a urmărit două direcții:

- reducerea emisiilor poluante ale grupului motopropulsor termic în condițiile obținerii unor prestații similare unui vehicul termic echivalent (performanțe dinamice, autonomie);
- implementarea unui echipament electric de propulsie racordabil la rețea (PHEV) care prin funcționarea în mod electric și recuperarea energiei de frânare, să permită reducerea emisiilor poluante.

S-a realizat astfel, o abordare complexă și sistematică a problemelor, concretizată în următoarele patru categorii de rezultate:

- Analiza realizărilor în domeniul sistemelor hibride de propulsie pentru autoturisme;
- Studiul dinamic al conceptului hibrid;
- Descrierea realizării modelului funcțional hibrid *GASTER E4WD*;
- Descrierea aparaturii de cercetare și determinări experimentale.

În acest context, în cele ce urmează, vor fi sintetizate cele mai reprezentative contribuții personale ale autorului, privind experimentul *GASTER E4WD*. Deși obiectul aplicației l-a constituit un autoturism din gama Dacia, teoria dezvoltată a fost astfel direcționată încât concluziile ce se desprind să fie reprezentative pentru toate autoturismele la care se dorește reducerea emisiilor poluante cu tracțiune integrală pe cale electrică (*Electricway 4WD*).

a) Analiza realizărilor în domeniul sistemelor hibride de propulsie pentru autoturisme

Principalele contribuții personale, privind analiza realizărilor în domeniul sistemelor hibride de propulsie pentru autoturisme, sunt următoarele:

- Studiul sistemelor hibride de propulsie de tip serie, de tip paralel, de tip serie-paralel și de tip divizat, pentru alegerea soluției tehnice ;
- Concepția arhitecturii sistemului hibrid cu tracțiune integrală aleasă pentru vehiculul funcțional E4WD de tip paralel cu grup motopropulsor termic convențional în față și grup motopropulsor electric în spate, este cea a hibridului paralel tip P4 .

b) Studiul dinamic al conceptului hibrid

Principalele contribuții personale privind studiul dinamic al vehiculului hibrid sunt următoarele:

- Stabilirea condițiilor autopropulsării și a limitelor de utilizare a ofertei sistemului de propulsie;

- Analiza funcționării autovehiculului ce permite determinarea consumului de energie, evaluarea regimului de funcționare a motorului electric și determinarea autonomiei pentru configurația curentă.
- Determinarea accelerației maxime și a celei instantanee pentru parcurgerea traseului stabilit și performanțele la demarare pentru determinarea vitezei maxime de deplasare și a spațiului de demarare.
- Determinarea consumului de energie necesar pentru efectuarea demarajului în mod electric.

c) **Descrierea realizării modelului funcțional hibrid *GASTER E4WD***

Principalele contribuții personale privind construcția modelului funcțional și a echipamentelor (termic și electric) sunt următoarele:

- Realizarea analizei privind montarea componentelor echipamentului sistemului hibrid pe modelul funcțional realizat, ținând cont de compatibilitatea geometrică și funcțională a subansamblurilor;
- Înlocuirea grupului motopropulsor cu motor diesel și transmisie automată cu dublu ambreiaj DHT cu un grup motopropulsor cu motor H4M asociat cu o transmisie automată cu variație continuă (CVT) ;
- Implementarea instalației de alimentare cu Gaz Natural Comprimat;
- Înlocuirea punții spate originale cu puntea motoare electrificată, de grupul motopropulsor electric;
- Realizarea noului rezervor de alimentare cu benzină de tip etanș (fără emisii de vapori de benzină) la funcționarea în mod termic cu GNC sau în mod electric;
- Realizarea noii baterii de tracțiune și a sistemului de încărcare a acesteia.

d) **Descrierea aparaturii de cercetare și determinări experimentale**

Principalele contribuții personale privind descrierea aparaturii de cercetare și determinările experimentale sunt următoarele:

- Realizarea în poligonul Registrului Auto Roman de la Merișani a testelor legate de verificarea funcționării conceptului în noua arhitectură;
- Măsurarea maselor vehiculului și a gărzii la sol
- Testele dinamice realizate cu echipamentul *DATRON CORREVIT* și *VBox i3 RTK*.

Cercetări viitoare

Modelul funcțional realizat până la această data va fi finalizat în perioada următoarea cu:

- Punerea în funcțiune a instalației de alimentare cu Gaz Natural Comprimat și realizarea testelor pe calea de rulare și standul cu rulouri pentru vehicule 4X4, dotat cu echipament de analiză a emisiilor poluante. Se va estima și contribuția transmisiei cu variație continuă la reducerea emisiilor poluante;
- Realizarea de teste în mod electric după punerea în funcțiune a noii baterii de tracțiune;
- Adaptarea unui sistem de încărcare inductivă pentru bateria de tracțiune similar celui dezvoltat în proiecte anterioare.

Bibliografie selectiva

- [1] <https://www.consilium.europa.eu/ro/press/press-releases/2018/10/10>
- [2] Document AVL
- [3] Călin L., „Proiect de cercetare”, Școala Doctorală INGINERIA AUTOVEHICULELOR, 2018/2019
- [4] Marinescu D.G., Nicolae V., Călin L., „Studiul posibilităților de reducere a emisiilor de CO2 la vehiculele Dacia Duster. Raport de cercetare nr.1 /2019” prevăzut în cadrul acordului cadru de parteneriat cu titlul: „Realizarea de studii, cercetări, dezvoltare experimentală, demonstratoare și prototipuri în domeniul ingineriei automobilului”, nr. 004/04.03.2019 (număr RTR) respectiv 2908/01.03.2019, Renault Technologie Roumanie–Centrul de cercetare „Ingineria Automobilului”, Universitatea din Pitești.
- [5] Marinescu D.G., Tabacu I., Iulian L., Șerban FI., Clenci A., Vieru I., Draghici M., 2004, “Rear Axle and Electric Powertrain for a Parallel Hybrid Electric Vehicle”. Simpozionul internațional de vehicule electrice EVS 21, Monte Carlo- Monaco 2-6 aprilie 2005.
- [6] Marinescu, D.G., Raport de Cercetare la GRANTUL nr. 956/2006-2007: Autoturism ecologic experimental cu propulsie hibridă termică-electrică alimentat cu Gaz Petrolier Lichefiat (GPL) și electricitate. Universitatea din Pitesti, 2008.
- [7] Marinescu D.G., Tabacu I., Șerban F., Clenci A., Tabacu S., “Plug-in Hybrid Electric Vehicle E- 4WD type”, 4th European Conference on Alternative Energies for the Automotive Industry. Futuroscope- Poitier, France, April 2-3, 2008.
- [8] Marinescu D.,G., Tabacu I., Șerban F., Tabacu, S., Nicolae V., Clenci A., Vieru I., “ECO HUV- ECOlogical Hybrid Utility Vehicle”, EVS24 International Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium, Stavanger, Norway, May 13-16, 2009.
- [9] Marinescu D. G., Tabacu I., Tabacu S., Nae C., “Research Regarding the Development of an Electric Vehicle ” EVER 09 paper 153, EVER 2009 *Ecologic Vehicle&Renewable Energies Conference*, March 26-29 2009, Monte Carlo, Monaco.
- [10] Marinescu D.G., Tabacu I., Tabacu S., “Research Regarding the Development of a plug-in Hybrid Electric Vehicle”, FISITA Congress 2010, Budapest, Hungary.
- [11] Marinescu DG., Tabacu Ion, Șerban Florin, Nicolae Viorel, Tabacu Ștefan, Vieru Ionel, “A Plug-in Hybrid Diesel Electric Vehicle”, EVS26 . Electric Vehicle Symposium, Los Angeles, California, May 6-9, 2012, <http://www.evs26.com>.
- [12] Dănuț-Gabriel Marinescu, Ion Tabacu, Florin Șerban, Ștefan Tabacu, Viorel Nicolae, Ionel Vieru, Nicolae Boicea, “Plug-in Hybrid Vehicle with a Lithium Iron Phosphate Battery Traction Type”, International Proceedings of FISITA 2012 World Automotive Congress, 27-30 Nov.2012, Beijing, China, <http://www.fisita2012.com>
- [13] Marinescu D.G., Popescu L.C., Tabacu I., Nicolae V., Serban FI., Vieru I., Tabacu St., Iorga A “A Full Electric Vehicle 4WD”, EVS28 KINTEX, Korea, May 3-6, 2015.
- [14] Dănuț Gabriel MARINESCU, Viorel NICOLAE, Florin SERBAN, Ionel VIERU, Nicușor MIERLOIU, Nicolae BOICEA , Andrei MARINESCU, Adrian VINTILA , “An Electric Crossover

Concept Car”, EVS30 International Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium, Stuttgart, Germany, October 9 - 11, 2017.

[15] Agenda Bosch, 2002.

[16] Ehsani, M., Gao, Y., Gay, S.E., “Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles, Fundamentals, Theory, and Design“, CRC Press Ed., 2005, ISBN 0-8493-3154-4;

[17] Badin, F., *Electric Vehicles– Component of systems*, Edition Technip, ISBN 978-2-7108-09886-9

[18] www.auto-innovation.com

[19] Marinescu D.,G., Nicolae, V., Calin., L., Studiul posibilităților de reducere a emisiilor de CO2 la vehiculele Dacia Duster. Raport de cercetare nr.1 /2019 prevăzut în cadrul acordului cadru de parteneriat cu titlul: „Realizarea de studii, cercetări, dezvoltare experimentală, demonstratoare si prototipuri in domeniul ingineriei automobilului”, nr. 004/04.03.2019 (numar RTR) respectiv 2908/01.03.2019, Renault Technologie Roumanie–Centrul de cercetare „Ingineria Automobilului”, Universitatea din Pitești.

[20] Marinescu, D.G., „Sisteme alternative de propulsie - Vehicule Electrice & Hibrice ” – Note de curs și prezentare PowerPoint 2019

[25] <https://www.auto-motor-und-sport.de/news/bmw-i3-range-extender-elektro-bmw-trifft-seine-kumpels/technische-daten/>

[27]] www.auto-innovation.com

[45] Dinamica Automobilului 11_DA_Definirea_conditiilor_de_autopropulsare_ n.d.

[46] Ion Tabacu, Ștefan Tabacu, Tiberiu Macarie EN. Îndrumar de proiectare Editura Universității din Pitești, 2004.

[47] J.Y. W. Theory of ground vehicles. John Wiley & Sons; 1978.

[48] Dănuț Gabriel Marinescu, Teza de doctorat : *Cercetări în vederea îmbunătățirii performanțelor autoturismelor de oraș prin utilizarea unei transmisii cu variație continuă a raportului de transmitere*; Universitatea din Pitești, 2002.îndrumator: Prof.dr.ing. Gh. Peres - Universitatea “Transilvania din Brasov” si Prof.dr.ing. Ion Tabacu – Universitatea din Pitesti.

[51] Document Renault

[52] Document Nissan

[53] Document Nissan

[63] <https://www.auto-innovations.com/dossiers.php?id=58>

[77] <https://www.vboxautomotive.co.uk/index.php/de/produkte/gps-messsysteme/vb3i-de>