

Capitolul I

Stadiul actual al cercetărilor privind sistemele de propulsie hibride electrice

1.1 Utilizarea energiei pe automobil

Pentru a putea fi utilizată la roată, energia disponibilă la bordul automobilului este supusă mai multor transformări, în funcție de tipul sistemului/sistemelor de propulsie utilizat/utilizate. Pentru a putea compara eficiența diverselor sisteme de propulsie trebuie determinat randamentul global al transformării energiei de la sursa primară în distanță parcursă. Această transformare este denumită „puț – distanță” („well-to-miles”), sau „puț – roată” („well-to-wheel”).

Pentru o analiză detaliată a conversiei energiei consumate în cazul unui automobil trebuie considerate cel puțin trei etape de conversie, Figura 1.1. Plecând de la o sursă primară de energie (combustibili fosili, energie solară, energie nucleară etc.) într-un prim pas, aceasta este transformată într-o formă potrivită pentru stocarea la bordul autovehiculului (benzină, hidrogen, biocombustibil etc.). Această conversie este denumită de obicei „puț – rezervor” („well-to-tank”) chiar dacă sursa primară nu este întotdeauna țițeiul.

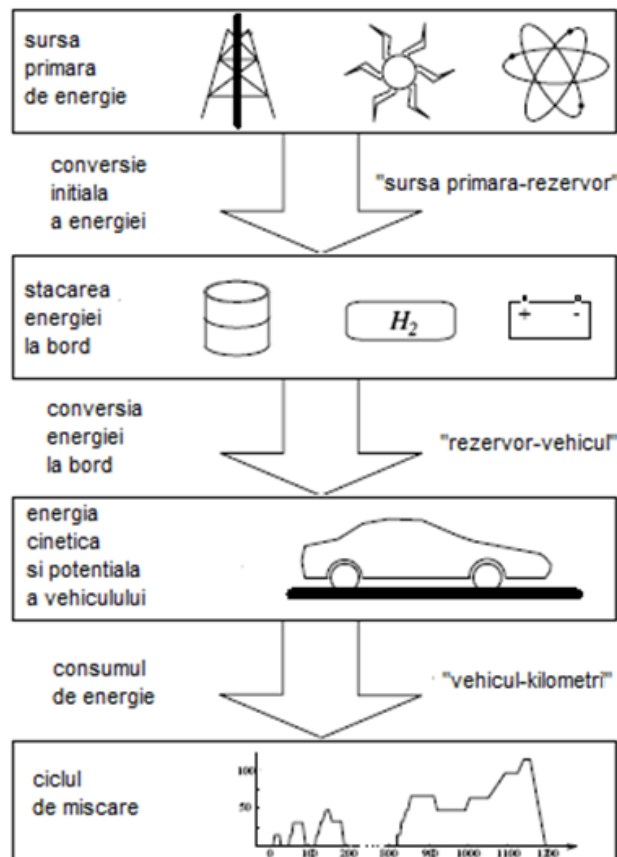


Figura 1.1 - Elementele principale ale conversiei energiei

După conversia inițială urmează conversia, prin sistemul de propulsie, în energie mecanică, care, parțial poate fi stocată în vehicul sub formă de energie cinetică sau potențială. Această conversie este denumită uzual „rezervor – vehicul” („tank-to-vehicle”) indiferent de tipul sistemului de stocare folosit (rezervor pentru combustibili lichizi, baterie de acumuloare etc.). A treia etapă, conversia „vehicul – distanță” („vehicle-to-miles”), este determinată de parametrii vehiculului și regimul de mișcare și constă în conversia energiei mecanice în căldură și disiparea acesteia în mediul ambiant.

Din păcate toate aceste procese de transformare a energiei se realizează cu pierderi. Deși interesează mai puțin aspectele legate de transferul de energie „sursa primară – rezervor”, în figura Figura 1.2 se poate observa o parte din rețeaua complexă ce presupune acest transfer energetic.

Accentul este pus în continuare pe conversia „rezervor – vehicul” și „vehicul – distanța parcursă”.

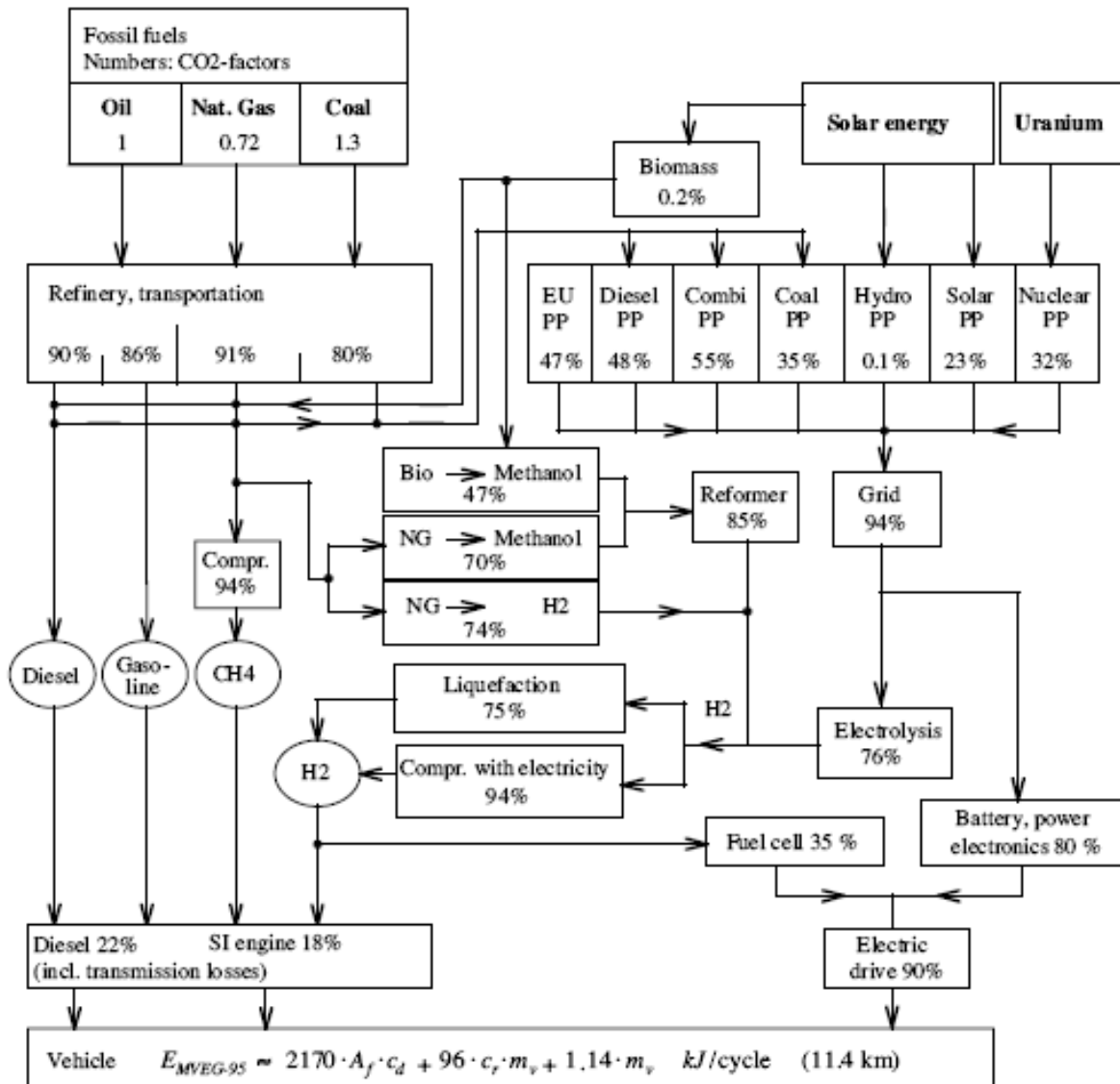


Figura 1.2 - Diferite modalități de transformare a energiei primare în energie mecanică

Tabelul 1.1 - Emisia de CO₂ în transformarea puț-distanță pentru 3 sisteme de propulsie convenționale

Tip combustibil	petrol		gaz natural
Emisie CO ₂	25 kg/100km	21 kg/100km	20 kg/100km
Transformare Randament	Rafinărie, transport		
	86 %	90 %	86 %
	Motor/Transmisie		
	MAS (benzină)	MAC (motorină)	MAS (CNG)
	17 %	20 %	16 %
Vehicul ($m_a=1600$ kg; $C_x \cdot A=0,86$ m ² ; $f=0,013$)			
Energia consumată în ciclul MVEG-95	50 MJ/100km		

În continuare se va analiza distribuția energiei disponibile pe automobil și modurile posibile de reducere a consumului de energie. Analiza energetică este un instrument util pentru optimizarea utilizării energiei disponibile pe automobil. În funcție de scopul dorit (studiul pierderilor în transmisie, studiul rezistențelor la înaintare etc.) sunt detaliate zonele de interes.

În Tabelul 1.2 este prezentată distribuția energiei înmagazinate în rezervor în cazul a două autoturisme convenționale. Primul este un autoturism din clasa medie produs în 1994 pentru piața SUA și echipat cu o transmisie automată cu 4 trepte, iar regimurile de deplasare sunt reprezentative pentru SUA (regim urban și autostradă), [1]. Al doilea este un autoturism din clasa medie destinat pieței europene care se deplasează după ciclul NEDC.

Tabelul 1.2 - Distribuția energiei disponibile pe automobil pentru circulația urbană și pe autostradă

Tipul pierderii		Circulație urbană	Circulație pe autostradă	NEDC
Energia disponibilă		100%	100%	100%
Motor	Pierderi în motor	64,2%	69,2%	77,4%
	Funcționarea la ralanti	17,2%	3,6%	
	Sisteme auxiliare	2,2%	1,5%	
Energia disponibilă		18,2%	25,6%	22,6%
Transmisia	Pierderi în transmisie	5,6%	5,4%	2,2%
Energia disponibilă		12,6%	20,2%	20,4%
Vehicul	Rezistența aerului	2,6%	10,9%	8,9%
	Rezistența la rulare	4,2%	7,1%	7,4%
	Pierderi prin frânare	5,8%	2,2%	4,1%

În Figura 1.3 este prezentată o analiză energetică care detaliază pierderile în sistemul de propulsie convențional al autoturismelor în cazul ciclului NEDC, [49], iar în Figura 1.4 este prezentată economia de combustibil obținută prin recuperarea energiei de frânare și a sistemului Start/Stop, în diferite medii de deplasare.

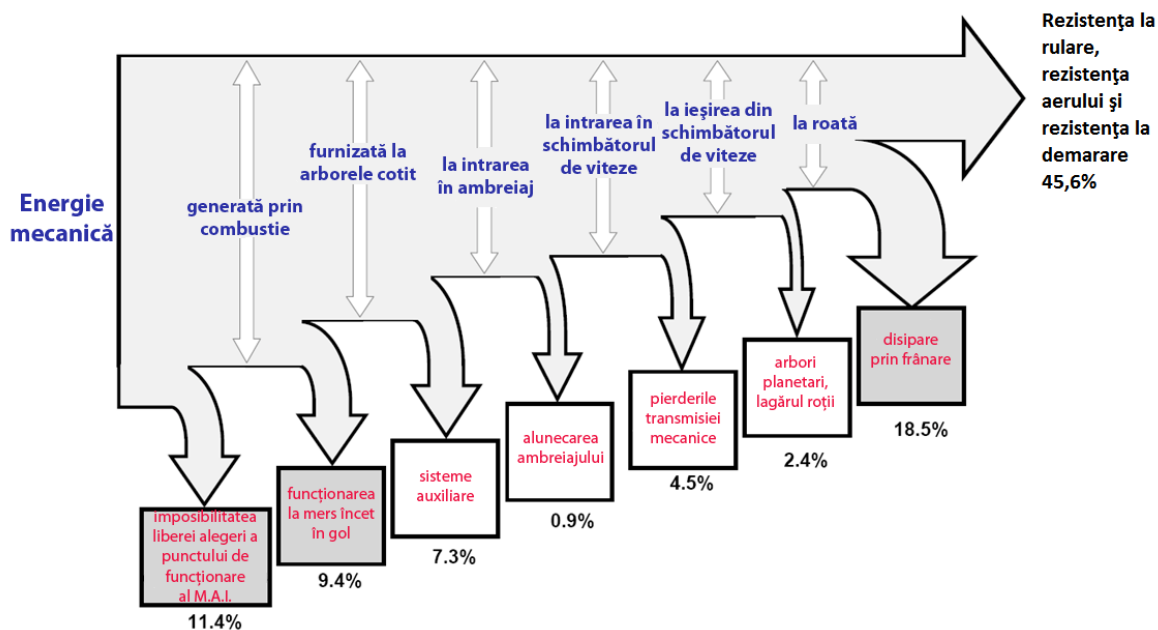


Figura 1.3 - Pierderile de putere în ciclul NEDC pentru un autoturism echipat cu sistem de propulsie convențional

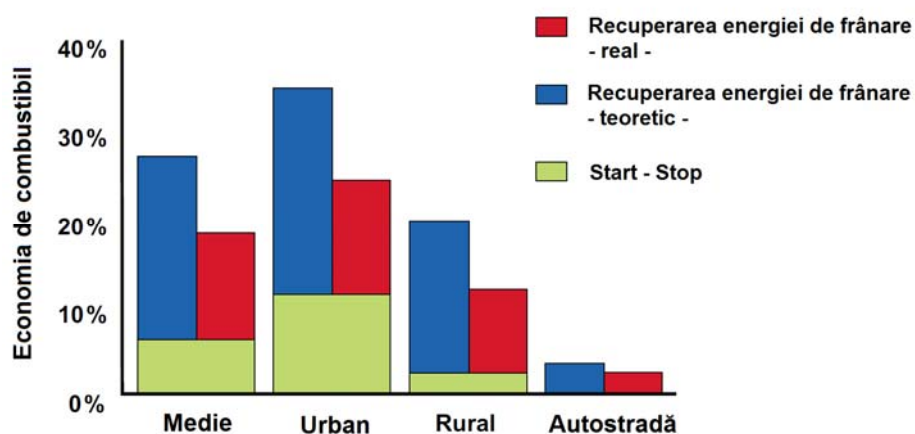


Figura 1.4 - Beneficiile recuperării energiei de frânare și a sistemului Start-Stop

1.2 Măsurile generale de reducere a consumului de combustibil și a emisiei de CO₂

Analizând distribuția energiei disponibile pe automobil se poate observa că metodele folosite pentru reducerea consumului de energie se pot grupa astfel:

- Metode privind generarea energiei (creșterea randamentului motorului, utilizarea motorului la regimuri cu randament mare, recuperarea de energie din gazele de evacuare și a energiei de frânare etc.)
- Metode privind reducerea consumului de energie (întreruperea funcționării motorului la staționare, creșterea randamentului transmisiei, reducerea rezistențelor la înaintare etc.)

În continuare sunt prezentate succint principalele metode de reducere a consumului de energie cu evidențierea caracteristicilor particulare în cazul sistemelor de propulsie hibride.

1.2.1 Creșterea randamentului motorului

La ora actuală potențialul de creștere al randamentului maxim al motoarelor cu ardere internă pentru autovehicule este minim. Astfel, un motor Diesel modern pentru autoturisme supraalimentat și având un sistem de recirculare a gazelor arse (EGR) de presiune mare și unul de presiune mică, răcite cu lichid, are un randament maxim de 44%, [70]. Dacă se compară nivelul actual al tehnologiei cu cel de la nivelul anilor '90, [38], în cazul motoarelor Diesel pentru autoturisme se observă o creștere a randamentului maxim de doar 1%.

Există însă un potențial mai mare în cazul funcționării la sarcini parțiale, o serie de tehnologii disponibile la ora actuală permitând creșterea randamentului la sarcini parțiale [36]: distribuția variabilă, suprimarea funcționării cilindrilor, injecția directă de benzină, mecanisme de modificare a raportului de comprimare. De asemenea sunt studiate noi procedee de ardere atât pentru motoarele cu aprindere prin scânteie cât și pentru cele Diesel. Astfel, în cazul unui motor CSI (Compression and Spark Ignition) care folosește la sarcini mici și medii autoaprinderea controlată a amestecurilor omogene HCCI (Homogeneous Charge Compression Ignition), iar la sarcini mari aprinderea prin scânteie a amestecurilor omogene HCSI (Homogeneous Charge Spark Ignition) s-a evidențiat o reducere a consumului de combustibil de până la 26% față de un motor convențional cu injecție indirectă, Figura 1.5.

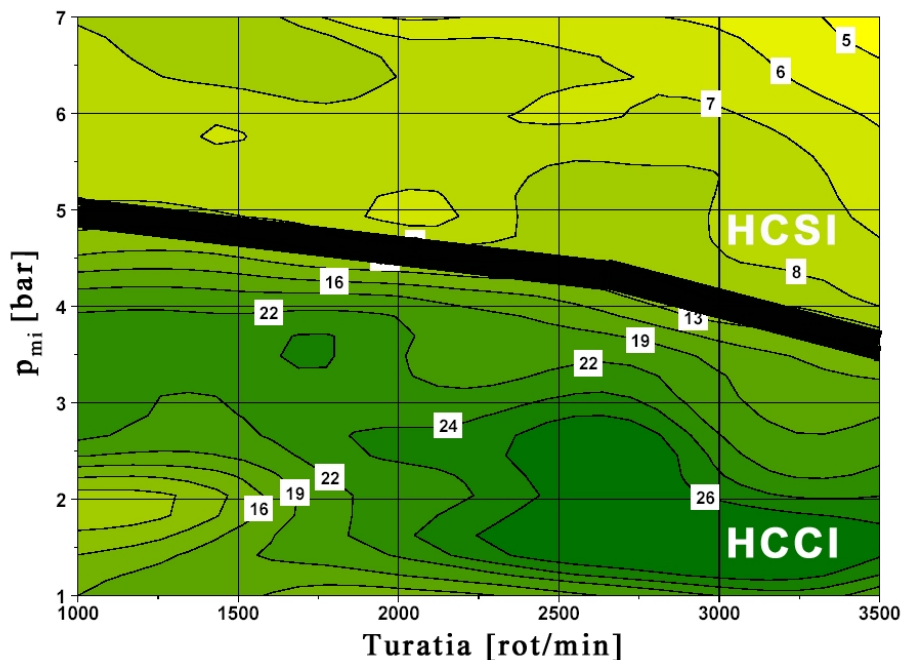


Figura 1.5 - Potențialul de economicitate al motorului CSI comparativ cu motorul MPI (Multi-point fuel Injection)

În cazul utilizării acestor tehnologii în paralel cu sistemele de propulsie hibride pot exista două situații:

- Se măresc beneficiile sistemelor hibride (de ex. sistemele de distribuție variabilă care permit suprimarea funcționării cilindrilor asigură mărirea gradului de recuperare a energiei la frânare în cazul soluției hibride ISG; folosirea ciclului Atkinson permite creșterea randamentului motorului în zona regimurilor de funcționare la sarcini parțiale, în cazul sistemelor de propulsie hibride totale);
- Se micșorează beneficiile sistemelor hibride (în general măsurile care permit creșterea randamentului la sarcini mici și medii reduc până la eliminare avantajele sistemelor hibride cu excepția frânării regenerative).

Astfel, tehnologiile costisitoare care permit reduceri considerabile ale consumului de combustibil în cazul aplicării individuale dar micșorează beneficiile sistemelor hibride vor fi aplicate în general numai la sistemele de propulsie convenționale.

1.2.2 Utilizarea motorului la regimuri cu randament mare

Este una din cele mai promițătoare metode, cu datele din [11] pentru cazul extrem în care motorul este utilizat doar la regimul economic obținându-se o economie de 30-40% în cazul autoturismelor din clasa mică și medie echipate cu motor cu aprindere prin scânteie (MAS). Metoda poate fi implementată prin folosirea unei transmisii corespunzătoare sau utilizarea sistemelor de propulsie hibride.

Creșterea numărului de trepte permite configurarea treptelor superioare din punct de vedere al consumului de combustibil. Pentru schimbătoarele de viteză manuale un număr de 6 trepte de viteză constituie compromisul optim între operabilitate, consum de combustibil, sportivitate și confort. Pentru transmisiile automate numărul de trepte crește la 7 sau 8 și, împreună cu schimbarea automată a treptelor, permite maximizarea eficienței acestei metode.

În cazul transmisiei manuale este posibilă asistarea șoferului prin implementarea sistemelor de recomandare a schimbării treptelor, dar această economie nu este luată în considerare în cazul ciclurilor de testare uzuale.

Pentru a putea estima gradul în care motorul este utilizat la regimurile cu eficiență maximă se poate defini mărimea η_{um} , *eficiența utilizării motorului*:

$$\eta_{um} = \frac{\int (\text{consum minim combustibil}) dt}{\int (\text{consum real combustibil}) dt} \cdot 100 \quad [\%] \quad (1.1)$$

O altă posibilitate de aplicare a acestei metode este dezactivarea cilindrilor și, în acest fel, mutarea punctului de funcționare pentru cilindrii care rămân funcționali, [17], [20].

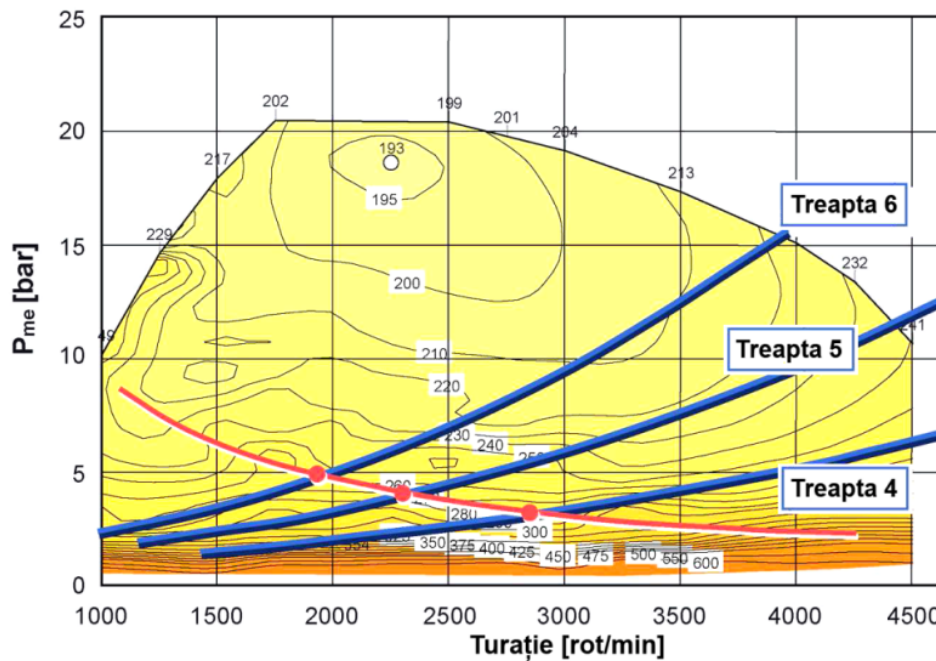


Figura 1.6 - Curbele de rezistență pentru diverse trepte suprapuse pe caracteristica de consum a motorului

În Tabelul 1.3 este prezentată eficiența utilizării motorului când conlucrează cu diferite tipuri de transmisii (AT, DCT, CVT), [58], iar în Figura 1.6 este prezentată influența numărului de trepte al schimbătorului de viteze asupra consumului specific efectiv. Comparativ cu celelalte transmisii, cele cu variație continuă a raportului de transmitere asigură cel mai bun control al regimului de funcționare a motorului. Din păcate randamentul scăzut al acestora limitează economia de combustibil obținută.

Utilizarea mai eficientă a motorului este realizată și prin folosirea sistemelor de propulsie hibride. Acestea permit, prin folosirea sursei de energie reversibile, menținerea funcționării motorului în zona regimurilor economice. Chiar dacă economia de combustibil dată de utilizarea eficientă a motorului este greu de cuantificat, deoarece se pot suprapune mai multe efecte (creșterea masei vehiculului, reducerea cilindrului motorului etc.), pentru un sistem de propulsie cu MAS și hibridizare electrică medie de tip paralel se estimează o economie de 5-9% în ciclul NEDC, [59].

Există însă și limite ale metodei, astfel regimul de utilizare al motorului are o influență directă și asupra altor emisii. În [70] se arată că la deplasarea regimului de funcționare a unui motor Diesel în zona turațiilor mici se poate obține o scădere a consumului de combustibil de 9% dar și o creștere a emisiilor de NO_x de 200%.

1.2.3 Recuperarea de energie la frânare

Este posibilă în cazul autovehiculelor care au sursă de energie reversibilă, deci autovehicule electrice sau hibride. Estimările făcute pentru autoturisme arată un potențial de îmbunătățire a

consumului de combustibil în ciclul mixt european de 20-25%, [11]. Câștigul real este mai redus, în principal din cauza limitării puterii mașinii electrice și a posibilităților de stocare a energiei electrice. Astfel, pentru un autoturism hibrid mediu, măsura permite o reducere a consumului de combustibil de 5-9%, [59].

1.2.4 Recuperarea energiei gazelor de evacuare

Se au în vedere doar metodele care nu implică sisteme care acționează direct asupra proceselor din motor, acestea fiind considerate metode de creștere a randamentului motorului. Recuperarea unei părți a energiei gazelor de evacuare se poate face direct, prin turbine legate cinematic la arborele cotit sau, indirect, folosind sisteme de generare a curentului electric.

Generatorul termoelectric este un sistem fără piese în mișcare bazat pe efectul Seebeck care generează energie din căldura disipată prin gazele de evacuare. El poate fi integrat în sistemul de evacuare cu dispunere sub podea, în radiatorul de răcire a gazelor arse recirculate sau în catalizatorul cu trei căi. BMW, Benteler, DLR și Emitec au dezvoltat un generator integrat în radiatorul EGR și prezentat în 2009 care are un potențial de reducere a consumului de combustibil de 2%.

1.2.5 Creșterea randamentului transmisiei

Chiar dacă transmisiile moderne au un randament ridicat, există încă rezerve în special când momentul de intrare este redus (la utilizarea urbană). Astfel, randamentul global al transmisiei poate scădea sub 70% în cazul circulației urbane. Direcțiile de acțiune actuale sunt: folosirea de uleiuri cu vâscozitate scăzută, folosirea rulmenților cu frecari reduse, reducerea pierderilor datorate pompei de ulei (pentru AT, CVT, DCT) și măsuri pentru încălzirea rapidă a transmisiei [70]. Se remarcă faptul că orice reducere a pierderilor tinde să fie anulată în ciclurile de testare urbane și mixte în lipsa unor sisteme de management termic. În mod clasic randamentul transmisiei este determinat la 80-100°C, adică la un nivel al temperaturii rareori atins în condiții normale de funcționare, [70]. De exemplu, în ciclul NEDC și în lipsa unor sisteme suplimentare de încălzire, plaja de temperatură în care funcționează transmisia este de 20-40°C, în cazul celor manuale și de până la 60°C pentru celelalte tipuri.

Pentru compararea corectă a diverselor tipuri de transmisii, pe lângă randamentul global al transmisiei, se folosește și eficiența utilizării motorului (definită anterior), [70]. În Tabelul 1.3 sunt prezentate *randamentul global al transmisiei* (η_t) și *eficiența utilizării motorului* (η_{um}) pentru diverse tipuri de transmisii (AT, DCT, CVT), [58]. Rezultatele sunt obținute prin simulare pornind de la specificațiile unor transmisii existente.

Tabelul 1.3 - Randamentul global al transmisiei și eficiența utilizării motorului

Ciclul de testare	Tipul transmisiei	η_t [%]	η_{um} [%]
Autostradă	DCT (6 trepte, ambreiaje umede)	95,4	81,2
LA4		95,5	85,8
Autostradă	AT (6 trepte)	93,1	86,9
LA4		92,3	87,7
Autostradă	CVT	88,4	90,2
LA4		89,6	93,2

1.2.6 Întreruperea funcționării motorului la staționare (Stop & Go)

Pierderile datorate funcționării motorului la ralanti variază, în funcție de ciclul de testare, între 4-18%. Cu toate acestea economia de combustibil în cazul întreruperii funcționării motorului la staționare este departe de aceste limite. Acest lucru este explicabil prin restricțiile impuse pentru oprirea motorului (limită minimă de temperatură a mediului ambiant, limită minimă de temperatură a motorului, necesitatea operării compresorului de aer condiționat etc.) și de consumul de energie la pornirea motorului termic (de ex. pentru un autoturism numai opririle de peste 5 s sunt eficiente), [47]. În cazul unui autoturism se obține o economie de până la 3,5% la deplasarea după ciclul NEDC [1] ceea ce reprezintă doar 37% din pierderile datorate funcționării la ralanti (9,4% în ciclul NEDC conform [1]). În cazul sistemelor de propulsie hibride medii și totale economia ajunge la 5-7% prin creșterea perioadei de întrerupere (datorită demarării în mod pur electric), [58].

1.2.7 Reducerea rezistențelor la înaintare

Ținând seama de principalele componente ale rezistențelor la înaintare, îmbunătățirea consumului de energie se poate realiza prin reducerea masei automobilului, a coeficientului rezistenței la rulare, a coeficientului rezistenței aerului și a secțiunii transversale maxime a automobilului. Analize detaliate sunt prezentate în [1], [11] și [60]. Cu datele din [11] s-au calculat, pentru autoturisme din clasele medie și mică, următoarele reduceri ale consumului de combustibil în ciclul MVEG-A:

- 6% pentru fiecare scădere a coeficientului de rezistență la rulare cu 20%;
- 6 respectiv 6,5% pentru o scădere a coeficientului aerodinamic cu 20%;
- 8% pentru fiecare scădere a masei vehiculului cu 15% (se obține și o creștere a performanțelor de accelerare).

Aceste măsuri sunt esențiale pentru toate tipurile de vehicule dar eficiența lor este accentuată în cazul sistemelor hibride și electrice prin creșterea gradului de recuperare a energiei.

1.2.8 Hibridizarea sistemului de propulsie

Sistemele de propulsie hibride sunt sisteme de propulsie care au în componența lor pe lângă un sistem convențional cu motor cu ardere internă (MAI) încă cel puțin unul capabil să furnizeze cuplu de tracțiune la roțile automobilului, pe de o parte, și să recupereze o parte din energia cinetică în fazele de decelerare, pe de altă parte. Cel mai frecvent, cel de-al doilea sistem este unul electric, dar poate fi și hidraulic, pneumatic sau mecanic. Cea de-a doua caracteristică importantă a sistemelor hibride de propulsie este aceea că necesită cel puțin două sisteme de stocare a energiei. Primul este rezervorul de combustibil, în care energia este stocată într-o formă foarte concentrată (sub formă de energie chimică), iar în cel de-al doilea energia poate fi extrasă dar și acumulată, în funcție de cerințele automobilului (sub formă de energie electrochimică, electrică, mecanică, hidraulică sau pneumatică), [60].

Așa cum se arată în [1], [60], [11], electrificarea sistemului de propulsie este soluția optimă pentru obținerea sistemelor de propulsie hibride la autoturisme. De aceea, în continuare vor fi analizate numai sistemele hibride electrice, unele din aspectele prezentate putând fi însă valabile și în cazul celorlalte tipuri de hibride.

Factorul de hibridizare H este definit în funcție de puterea MAI (P_{MAI}) și puterea mașinii(-lor) electrice (P_{ME}), [41]:

$$H = \frac{P_{ME}}{P_{MAI} + P_{ME}} \cdot 100 \quad (1.2)$$

Practic, prin utilizarea sistemelor de propulsie hibride, se creează condițiile realizării sau sporirii efectelor produse de măsurile prezentate anterior. Acest lucru este realizat în cea mai mare măsură datorită existenței sursei de energie reversibilă (bateria de acumulatori).

Îmbunătățiri suplimentare ale performanțelor sistemelor de propulsie hibride, față de valorile actuale, se pot obține utilizând strategii de comandă anticipative. Acestea utilizează date despre mediul din jurul autovehiculului și despre traseul pe care îl va parcurge acesta (poziția actuală, profilul longitudinal al drumului, distanța față de vehiculul din față, informații despre trafic) pentru a optimiza fluxurile de energii în sistemul de propulsie. Utilizând aceste strategii sunt așteptate reduceri suplimentare ale consumului de combustibil de 3 ... 5%, [13].

În Figura 1.7 este prezentată o comparație în ceea ce privește economia adusă față de un autovehicul cu MAS convențional de către autovehiculele dotate cu motor Diesel sau hibride, pentru diferite regimuri de deplasare.

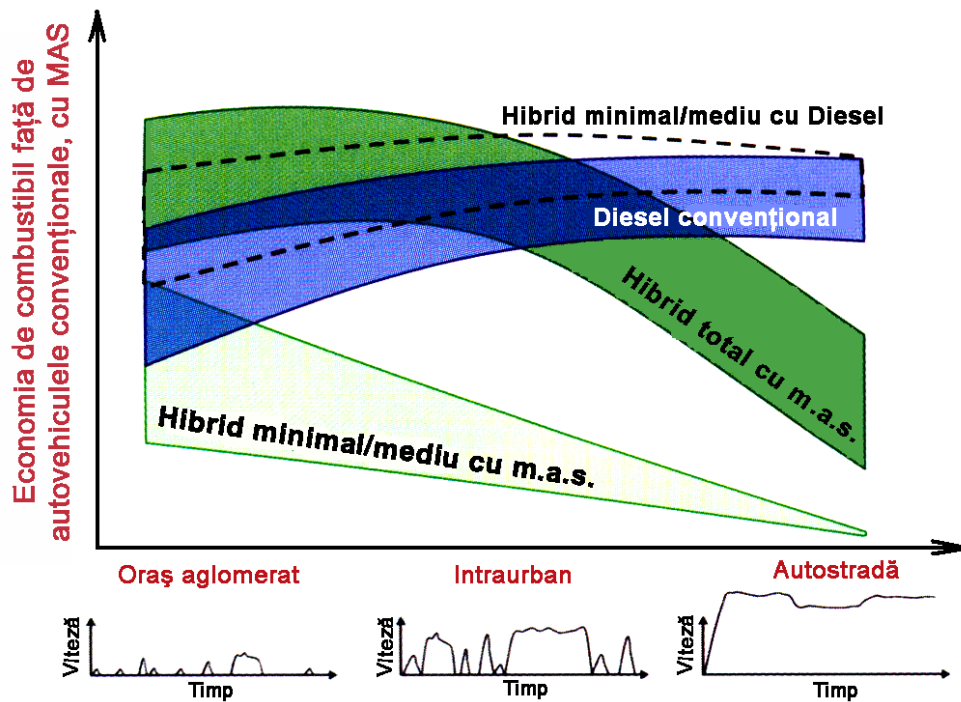


Figura 1.7 - Comparație între motorul Diesel și sistemele hibride pentru diferite moduri de utilizare

Se poate observa că regimul de deplasare al autovehiculului influențează foarte mult consumul de combustibil. Pentru autovehiculele hibride minimal sau mediu sau pentru cele Diesel hibride se obține o reducere foarte mare a consumului de combustibil în traficul congestionat al orașelor (datorită sistemului Stop & Go) dar și în traficul obișnuit intraurban (datorită recuperării de energie la frânare). La deplasarea pe autostradă, unde autovehiculul nu frânează frecvent, doar sistemele de propulsie hibride total aduc o îmbunătățire semnificativă a consumului (prin utilizarea motorului cu ardere internă la regimuri mai apropiate de polul economic).

Este dificil de realizat o comparație între aceste tehnologii din punct de vedere al costului din cauza maturității lor diferite și a volumului de producție. Pentru sistemele hibride se așteaptă o scădere semnificativă a costurilor odată cu creșterea volumului de vânzări și a maturității soluției, însă pentru sistemele de propulsie cu motor Diesel, tehnologie ajunsă deja la maturitate, se așteaptă o scădere mai lentă a prețurilor.

1.3 Clasificarea sistemelor de propulsie hibride electrice

1.3.1 Clasificarea în funcție de puterea electrică instalată

În funcție de puterea electrică instalată pe autovehicul (pentru sistemul de propulsie) vehiculele hibride sunt clasificate ca: hibride minimale, hibride medii și hibride totale (Tabelul 1.4) [28], [40], [49].

Pentru un hibrid minimal puterea electrică este suficientă pentru repornirea automată a MAI după ce acesta a fost oprit (de exemplu la semafor). Recuperarea energiei la frânare este posibilă numai într-o măsură foarte mică. Datorită costurilor suplimentare foarte mici aceste sisteme sunt folosite în special pe autoturismele de clasă foarte mică. De asemenea acest sistem se utilizează și când se dorește o conversie rapidă a unui autoturism clasic.

Pentru un hibrid mediu puterea electrică instalată este de 10÷15 kW (pentru autoturisme). Această putere este suficientă pentru decelerațiile uzuale și asigură un raport de recuperare al energiei ridicat. O creștere suplimentară a puterii electrice va permite recuperarea maximă de energie și în cazul decelerațiilor puternice. Din cauza decelerațiilor puternice rare, această creștere nu este justificată din punct de vedere economic dacă se folosește numai pentru recuperarea de energie la frânare.

Tabelul 1.4 - Caracteristicile sistemelor de propulsie hibride în funcție de gradul de hibridizare

		Tip				
		minimal	mediu	total	P-HEV	EREV
Funcții	Sisteme auxiliare electrice	X	X	X	X	-
	Stop & Go	X	X	X	X	X
	Asistarea MAI		X	X	X	-
	Recuperare de energie la frânare		X	X	X	X
	Tracțiune electrică			X	X	X
	Autonomie ridicată în mod electric				X	X
Reducerea consumului de combustibil*		5÷7%	12÷18%	20÷25%	n.a.	n.a.
Puterea electrică instalată (pt. autoturisme)		4 ÷ 6 kW	10 ÷ 15 kW	30 ÷ 50 kW	30 ÷ 50 kW	50 ÷ 90 kW
Factorul de hibridizare [%]*		6 ÷ 8	12 ÷ 16	27 ÷ 38	27 ÷ 38	50 ÷ 65
Complexitate/costuri suplimentare*		+	++	++++	+++++	+++++

*Comparativ cu un sistem de propulsie convențional

Un hibrid mediu permite tracțiunea electrică pe distanțe și durate foarte scurte dar, în principal, mașina electrică a acestuia doar asistă MAI. În ceea ce privește reducerea consumului de combustibil acest sistem este foarte eficient: aproximativ 6 % prin Stop & Go și aproximativ 10 % prin recuperare de energie. Un astfel de sistem este suficient în cazul în care nu este nevoie de tracțiune pur electrică sau o asistare semnificativă a MAI.

Pentru un hibrid total puterea electrică instalată este de 30÷50 kW, considerabil mai mare decât în cazul hibridului mediu. Aceasta permite oprirea MAI în cazul regimurilor de funcționare cu randament scăzut, autovehiculul fiind propulsat numai în modul electric. Astfel se poate obține o reducere suplimentară a consumului de combustibil de aproximativ 4%.

Hibridele totale se folosesc în general pentru o creștere a puterii totale instalate pe autovehicul dar pot fi de asemenea folosite pentru reducerea puterii MAI (cu pastrarea performanțelor dinamice ale autovehiculului). În al doilea caz, sistemul de propulsie va avea un MAI care, pentru a putea asigura performanțele dinamice maxime, necesită permanent asistență activă din partea motorului electric de putere mare. În multe situații este nevoie de două mașini electrice pentru a putea folosi la maxim beneficiile hibridizării.

Limita dintre hibridul mediu și cel total nu este bine definită putând exista variante de tranziție care pot, de exemplu, să permită manevre pur electrice dar nu și tracțiune pur electrică la viteze ridicate. De asemenea, în Figura 1.8 este clarificată încadrarea autovehiculelor electrice cu dispozitiv de mărire a autonomiei în categoria autovehiculelor hibride datorită existenței a două surse de energie.

Un pas suplimentar către autovehiculul electric este hibridul total cu alimentare de la rețea (P-HEV = Plug-in HEV). Acesta se obține prin supradimensionarea pachetului de baterii al autovehiculului hibrid total și utilizarea acestei energii pentru tracțiunea în mod electric, în limita posibilităților părții electrice a sistemului de propulsie, [46], [71].

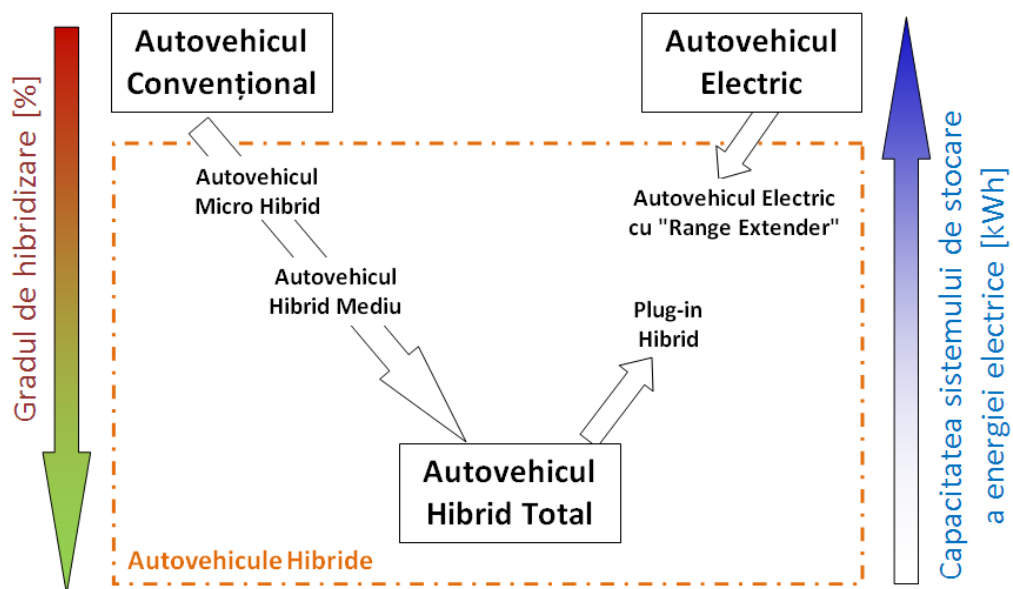


Figura 1.8- Încadrarea autovehiculelor în categoria "hibride"

După cum se poate observa și în Figura 1.8, există o categorie de autovehicule hibride care derivă mai degrabă din autovehiculele electrice, prin adăugarea unui sistem de extindere a autonomiei ("Range Extender"), numite autovehicule electrice cu autonomie extinsă (EREV = Extended Range Electric Vehicle). Acest lucru este necesar deoarece, deși o autonomie de 60 km ar fi suficientă pentru realizarea deplasărilor zilnice a 80% din autoturismele UE, conducătorii acestora sunt afectați psihologic de dependența autonomiei crescute.

Fiind derivat dintr-un sistem de propulsie electric, sistemul hibrid EREV are instalată o putere electrică mai mare decât puterea MAI, rezultând în acest fel un factor de hibridizare de cel puțin 50%.

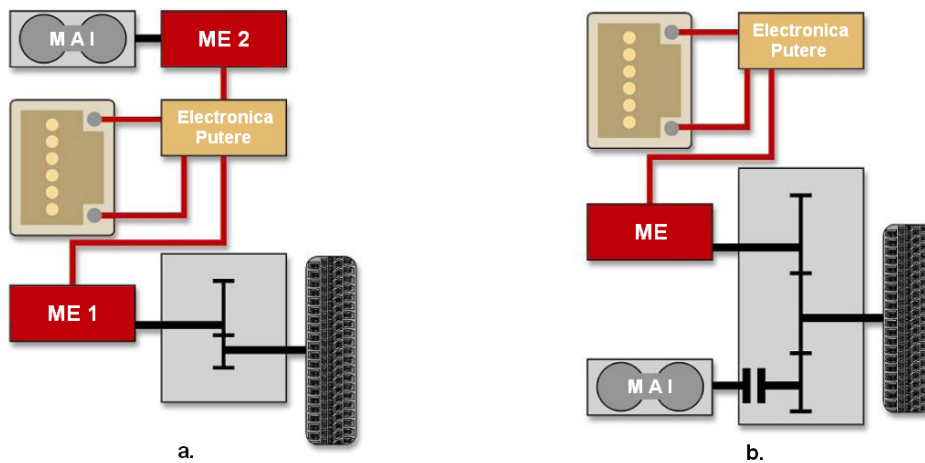


Figura 1.9 - Sistemul de extindere a autonomiei EREV: a. fără conexiune mecanică în sistemul de propulsie, b. conectat mecanic în sistemul de propulsie

Cel mai simplu sistem de extindere a autonomiei este adăugarea unui grup generator (motor cu ardere internă și mașină electrică) în sistemul electric de propulsie, Figura 1.9 a. Astfel, sistemul de propulsie electric rămâne nemodificat, el asigurând performanțele dinamice maxime ale autovehiculului, iar sistemul de extindere a autonomiei pornește atunci când starea de încărcare a bateriei scade sub un anumit nivel. Mașina electrică ME 2, adăugată suplimentar, este utilizată în regim de generator pentru încărcarea bateriei sau transmiterea puterii MAI la roată pe cale electrică, și în regim de motor pentru pornirea MAI. Avantajele acestui sistem constau în libertatea de amplasare a grupului generator (el conectându-se doar electric la sistemul de propulsie) și păstrarea nemodificată a stării sistemului de propulsie electric din care derivă. Dezavantajele cele mai importante sunt randamentul scăzut prin care este transmisă energia combustibilului la roata automobilului (3 conversii: chimic - mecanic - electric - mecanic) și spațiul ocupat de grupul generator și inverterul necesar suplimentar.

O alternativă a acestei variante este conectarea mecanică în sistemul de propulsie electric a motorului cu ardere internă și eliminarea mașinii electrice suplimentare, împreună cu inverterul necesitat de aceasta, Figura 1.9 b. Deși sunt evidente avantajul randamentului sporit al transmiterii energiei combustibilului la roată și simplitatea sistemului, această configurație permite doar realizarea câtorva dintre modurile de funcționare ale autovehiculelor hibride, nu permite decuplarea completă a punctului de funcționare al MAI față de viteza autovehiculului și necesită dezvoltarea unei transmisii. Având în vedere toate aceste considerații, este dificil de precizat care dintre cele două variante ale sistemului de propulsie hibrid EREV este cea mai bună.

În Tabelul 1.5 este prezentată emisia globală de CO₂ pentru un autoturism din clasa medie echipat cu sisteme de propulsie hibride cu grade de hibridizare și combustibili diferiți. Calculele au

fost efectuate folosind datele din [36], fiind prezentate valorile estimate ale economiei de combustibil obținute prin întreruperea funcționării motorului la staționare și deplasarea regimului de funcționare a motorului termic în zona randamentului mai bun și valorile energiei recuperate la frânare, obținute prin simulare [63].

Tabelul 1.5 - Emisia globală de CO₂ pentru sistemele de propulsie hibride

Tip combustibil	petrol			
Emisie CO ₂	24 kg/100km	22 kg/100km	19,7 kg/100km	20 kg/100km
Transformare Randament	Rafinărie, transport			
	86 %			90 %
	Motor/Transmisie			
	MAS (benzină) minimal	MAS (benzină) mediu	MAS (benzină) total	MAC (motorină) minimal
17.7 %	18.7 %	22.7 %	21 %	
Vehicul ($m_0=1600$ kg; $c_x \cdot A=0,86$ m ² ; $f=0,013$)				
Energia recuperată	0 kJ/100km	3000 kJ/100km	4500 kJ/100km	0 kJ/100km
Energia consumată în ciclul MVEG-95	50 MJ/100km			

1.3.2 Clasificarea în funcție de dispunerea sistemului electric

Clasificarea în funcție de nivelul de hibridizare oferă informații asupra funcționalității dar nu este relevantă pentru structura și dispunerea mașinilor electrice în transmisie. O clasificare a sistemelor de propulsie hibride din punct de vedere al arhitecturii este prezentată în continuare, [49].

Sisteme de propulsie hibride:

- **serie**
- **paralel**
 - cu suplimentarea momentului
 - cu un singur arbore
 - cu doi arbori
 - cu suplimentarea forței de tracțiune
 - cu suplimentarea turației
- **mixt**
 - combinat
 - cu divizare de putere

1.4 Modurile de funcționare a sistemelor hibride electrice

Sistemele de propulsie hibride pot avea mai multe moduri de funcționare în funcție de arhitectura lor, [60]:

1. **Electric pur:** MAI este oprit iar autovehiculul este propulsat folosind doar energia stocată în baterii;
2. **Pornirea MAI;**

3. **MAI pur:** puterea necesară pentru tracțiune este asigurată doar de motorul cu ardere internă (bateriile nu primesc și nici nu livrează energie);
4. **Hibrid:** puterea necesară pentru tracțiune este asigurată atât de MAI cât și de motorul electric;
5. **Tracțiune cu MAI și încărcarea bateriilor:** puterea furnizată de MAI este folosită pentru propulsarea autovehiculului dar și pentru încărcarea bateriilor;
6. **Recuperare de energie la frânare:** o parte din puterea necesară la frânare este transformată în energie electrică cu ajutorul unui generator sau al unei mașini electrice reversibile. Energia generată este stocată în baterii sau în alt sistem de stocare a energiei;
7. **Încărcarea bateriilor:** puterea furnizată de MAI este folosită numai pentru încărcarea bateriilor;
8. **Hibrid și încărcarea bateriilor:** o parte din puterea furnizată de MAI este folosită la tracțiune inclusiv prin ramura electrică iar cealaltă parte este folosită la încărcarea bateriilor.
9. **Umplerea golului de moment la schimbarea treptelor,** în cazul transmisiilor automatizate.

În continuare sunt prezentate particularitățile constructive și funcționale ale fiecărui tip de sistem de propulsie hibrid, evidențiindu-se, de asemenea, avantajele și dezavantajele acestora. Pe baza acestei analize se vor selecta variantele posibil de realizat din punct de vedere tehnico-economic în cadrul acestui proiect, variante pentru care va fi elaborată structura și care vor fi analizate în detaliu prin simulare.

1.4.1 Sisteme de propulsie hibride serie

Sistemele hibride serie au în componență un generator electric și o mașină electrică reversibilă (motor/generator), Figura 1.10, [49].

Particularitățile sistemului hibrid serie sunt următoarele, [60]:

- Absența legăturii mecanice dintre motorul cu ardere internă și roțile automobilului;
- Absența cutiei de viteze mecanică (pot exista însă reductoare cu 2 trepte pentru reducerea dimensiunilor mașinilor electrice);
- Utilizarea a două mașini electrice de tracțiune diferite;
- Pierderi mari la transformarea frecventă a energiei (mecanică-electrică și invers) mai ales la puteri electrice foarte mari.
- Încărcarea bateriilor se realizează fie de la grupul motor cu ardere internă-generator electric, fie de la mașina electrică de tracțiune, care va funcționa în regim de generator electric, la frânarea automobilului.
- La staționarea îndelungată bateriile pot fi încărcate și de la rețea.

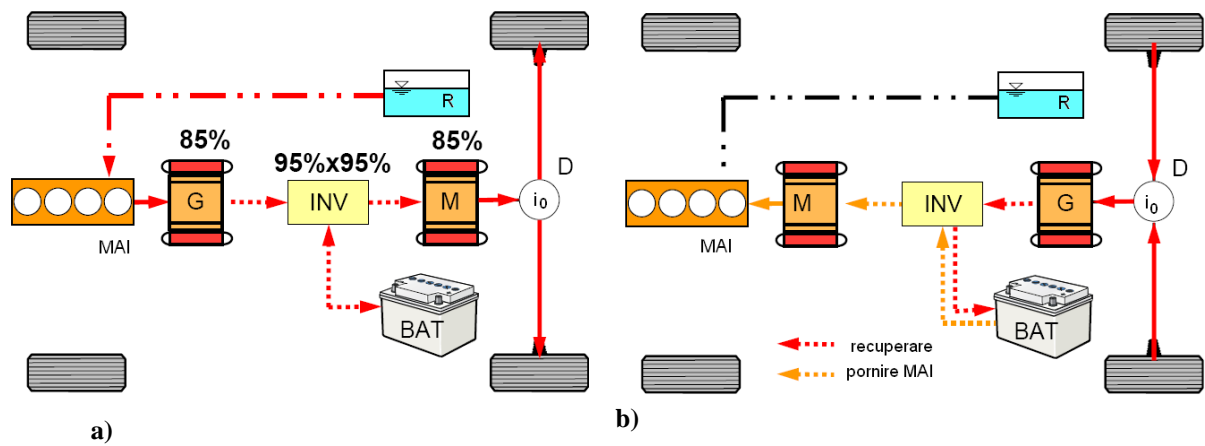


Figura 1.10 - Schema transmisiei hibride serie: a) tracțiune; b) recuperare de energie la frânare și pornirea MAI

Sistemul hibrid serie are următoarele moduri de funcționare:

1. *Electric pur*: Da, în măsura capacității de stocare a energiei electrice.
2. *Pornirea MAI*: MAI poate fi pornit folosind mașina electrică legată de acesta în cazul în care este reversibilă (Figura 1.10b). Dacă nu este reversibilă se păstrează sistemul de pornire clasic. Pornirea MAI este posibilă atât la staționare cât și în mers.
3. *MAI pur*: Da, mașinile electrice au rolul unei transmisii electrice între motor și roți (Figura 1.10a);
4. *Hibrid*: Da;
5. *Tracțiune cu MAI și încărcarea bateriilor*: Da, (Figura 1.10a);
6. *Recuperare de energie la frânare*: Da, mașina electrică reversibilă folosită la tracțiune funcționează ca generator, (Figura 1.10 b);
7. *Încărcarea bateriilor*: Da;
8. *Hibrid și încărcarea bateriilor*: Da.
9. *Umplerea golului de moment*: Nu este cazul.

Randamentul uzual de transmitere a puterii al acestui sistem de propulsie este de aproximativ 65%, [49]. Deși acest randament este scăzut, prin menținerea funcționării motorului la turație aproape constantă indiferent de viteza automobilului rezultă o mare economie de combustibil și emisii reduse la deplasarea în oraș. În alte condiții de deplasare, la aceleași performanțe cu ale automobilului echipat cu motor cu ardere internă, bateriile și motorul electric ar trebui să fie foarte mari.

Sistemele hibride serie prezintă următoarele avantaje și dezavantaje:

Avantaje:

- Inexistența unei legături mecanice între MAI și roți ceea ce conduce la: posibilitatea menținerii MAI la regimul cel mai avantajos de funcționare (d.p.d.v. al consumului de combustibil, emisiilor poluante și uzurii), posibilitatea optimizării MAI numai pentru un domeniu moment-turație redus, posibilitatea utilizării și a unor mașini termice neadaptate pentru tracțiune (MAI de turație mare, turbină cu gaze, motor Stirling etc.);

- Aproximarea caracteristicii moment-turație a motorului electric de caracteristica ideală de tracțiune ceea ce conduce la: lipsa transmisiilor mecanice cu trepte multiple, posibilitatea utilizării motoarelor electrice montate direct în roata autovehiculului (avantaj din punct de vedere al gabaritului și în cazul realizărilor autovehiculelor cu tracțiune integrală).
- Strategiile de control sunt relativ simple;
- Funcționarea electrică pură într-o zonă cu emisii zero (autonomia este dependentă de capacitatea de stocare a energiei electrice la bord).

Dezavantaje:

- energia MAI este transformată de doua ori (din energie mecanică în energie electrică și din energie electrică în energie mecanică). Randamentele celor doua transformări conduc la un randament global scăzut al transmisiei;
- motorul electric de tracțiune trebuie dimensionat pentru realizarea performanțelor maxime deoarece este singura mașină folosită pentru tracțiune;
- cele două mașini electrice de putere mare, precum și sistemul de stocare a energiei electrice măresc masa și costul autovehiculului.

1.4.2 Sisteme de propulsie hibride paralel

La transmisiile hibride paralel puterea la roată poate fi furnizată simultan sau separat de către cele două surse de putere. MAI este asistat de către un motor electric care este cuplat mecanic de transmisie.

Particularitățile acestui tip de sistem de propulsie hibrid sunt următoarele:

- Antrenarea cu MAI și cu motorul electric se face în paralel;
- Se folosește numai o singură mașină electrică reversibilă (turații joase, cuplu de demarare mare);
- Însurubarea puterii de la cei doi arbori de antrenare;
- Este necesară cutia de viteze mecanică;
- Bateria poate fi încărcată atât de către motorul cu ardere internă, prin intermediul mașinii electrice, când funcționează la sarcini parțiale, cât și de către mașina electrică, în regimurile de decelerare a automobilului.

Legătura mecanică dintre MAI și motorul electric permite diferite configurații ale sistemului, detaliate în continuare.

a. Sisteme hibride paralel cu suplimentarea momentului

Sunt sisteme hibride paralel la care se însumează momentul furnizat de cele două motoare cu ajutorul unui cuplaj mecanic.

În funcție de tipul cuplajului mecanic, aceste sisteme sunt cu un singur arbore sau cu doi arbori. În ambele cazuri transmisia poate fi plasată în poziții diferite și poate avea rapoarte de transmitere diferite astfel încât rezultă caracteristici de tracțiune diferite.

Sisteme hibride paralel cu suplimentarea momentului cu un singur arbore, Figura 1.11, [49]

Sunt cele mai simple sisteme hibride paralel în care rotorul mașinii electrice funcționează ca un cuplaj de moment. Transmisia poate fi poziționată după motorul electric care este cuplat cu MAI prin intermediul unui ambreiaj, sau între MAI și motorul electric. În acest caz, atât momentul motor al MAI cât și al motorului electric sunt modificate de transmisie, iar cele două motoare trebuie să aibă aceeași gamă de turație. Configurația este folosită uzual în cazul unui hibrid mediu.

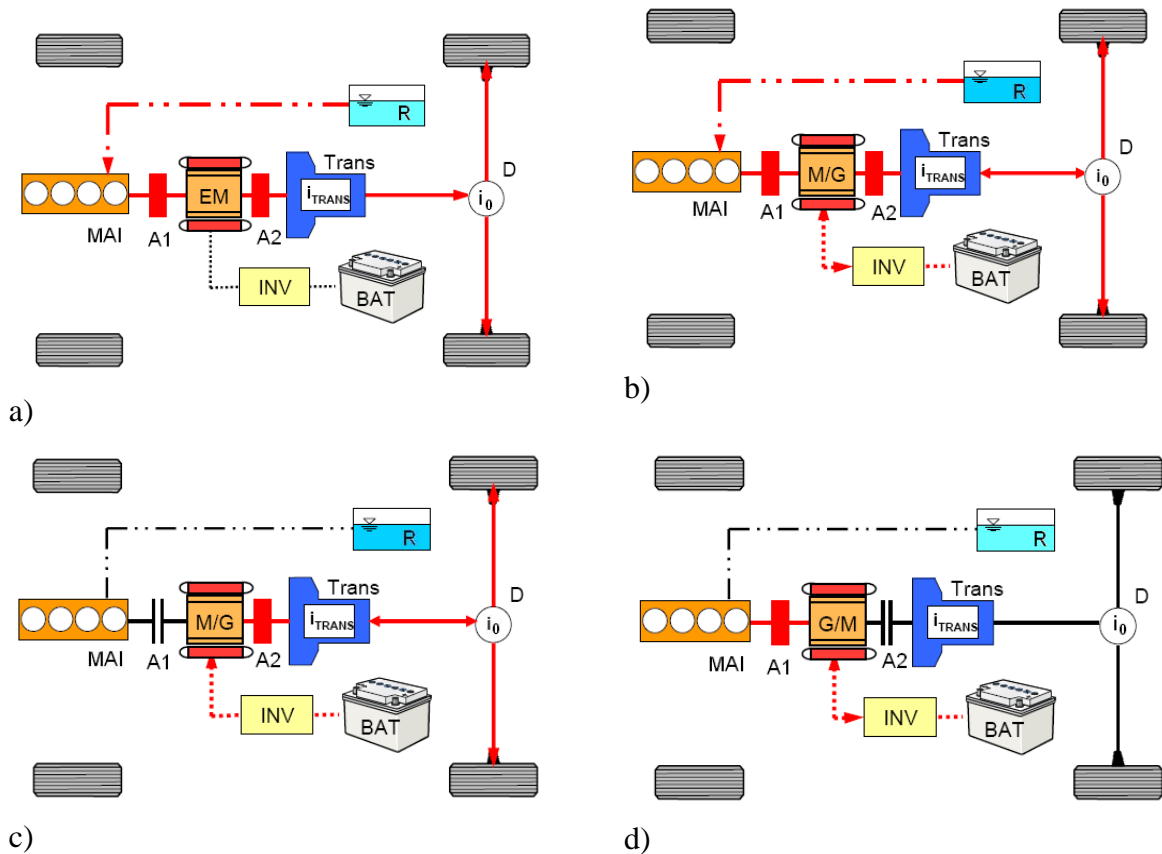


Figura 1.11 - Funcționarea sistemului de propulsie hibrid paralel cu suplimentarea momentului cu un singur arbore: a) tracțiune; b) asistarea MAI, încărcarea bateriilor în mers; c) tracțiune electrică sau recuperare de energie; d) pornirea MAI

În Figura 1.12 sunt prezentate variantele posibile de amplasare a mașinii electrice între MAI și schimbătorul de viteze, la sistemul hibrid cu suplimentarea momentului cu un arbore. Se observă că unul dintre cele două ambreiaje poate lipsi pentru anumite soluții. Dacă lipsește ambreiajul dintre MAI și mașina electrică, energia recuperată la frânare se reduce din cauza rezistenței suplimentare cauzată de antrenarea MAI, dar rotorul mașinii electrice poate avea rolul de volant reducând astfel inerția și masa globală a sistemului de propulsie. De asemenea se pot lua măsuri de reducere a rezistenței la antrenarea MAI. Dacă lipsește ambeiajul dintre mașina electrică și roți, MAI poate fi pornit cu mașina electrică numai folosind o strategie complexă, în multe cazuri preferându-se folosirea unui sistem de pornire separat.

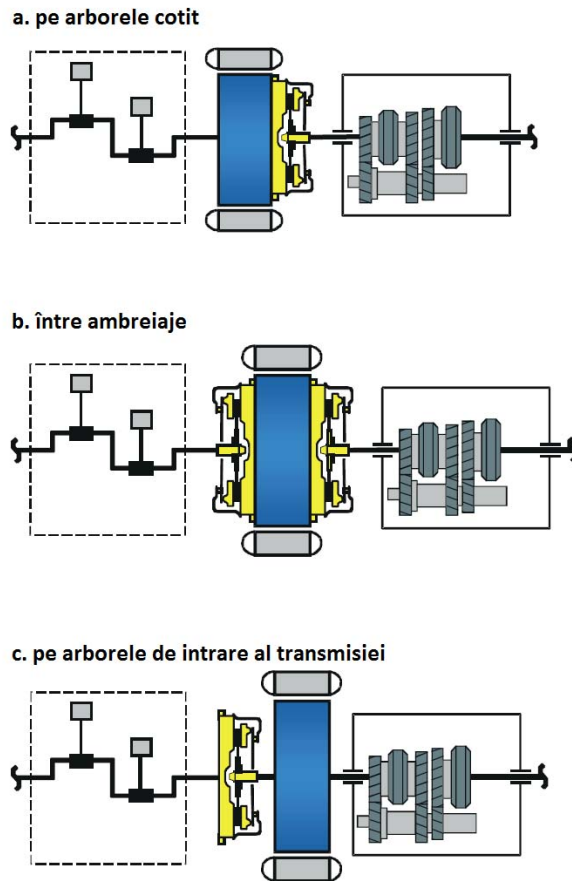


Figura 1.12 - Variante de amplasare a mașinii electrice la hibridul paralel cu suplimentarea momentului cu un arbore

În Figura 1.13 și Figura 1.14 sunt prezentate soluțiile constructive de realizare a ambreiajului atunci când mașina electrică este conectată direct la arborele MAI, neexistând ambreiaj între acestea, pentru varianta cu amortizor de vibrații torsionale înglobat în discul condus, respectiv în volant.

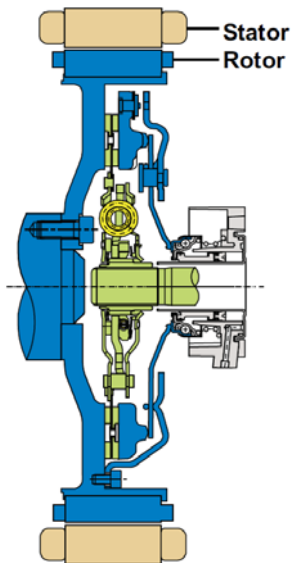


Figura 1.13 - Mașina electrică montată pe volantul rigid

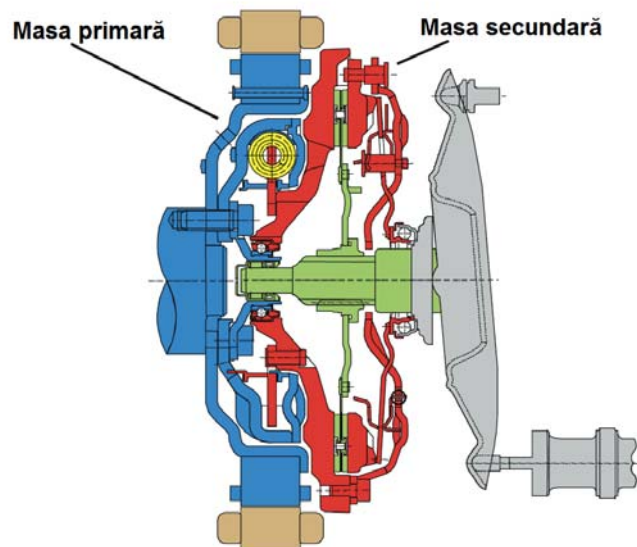


Figura 1.14 - Mașina electrică montată pe volantul dual-mass

În Figura 1.15 și Figura 1.16 sunt prezentate soluții constructive de realizare a ambreiajelor atunci când acestea există și într-o parte și în cealaltă a mașinii electrice.

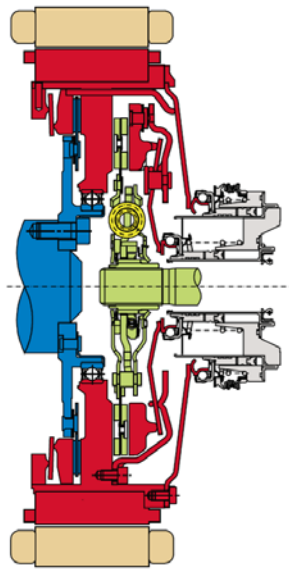


Figura 1.15 - Mașina electrică montată între ambreiaje acționate prin rulmenți de presiune concentrice

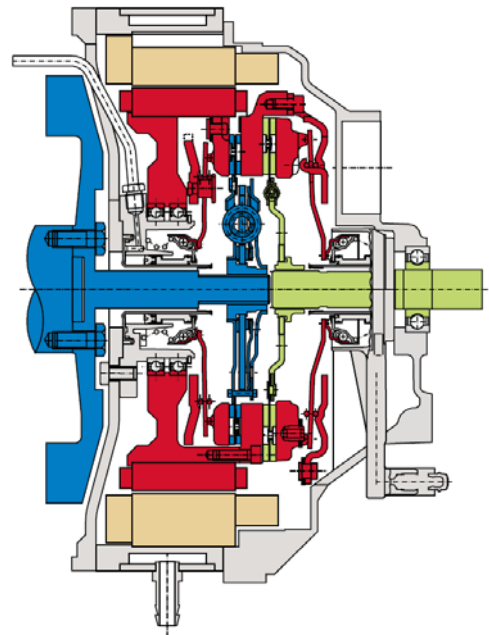


Figura 1.16 - Mașina electrică montată între două ambreiaje acționate prin sisteme hidraulice separate

Sisteme hibride paralel cu suplimentarea momentului cu doi arbori, Figura 1.17

Sunt sisteme hibride paralel cu suplimentarea momentului la care cuplajul mecanic însumează la arborele de ieșire momentul de intrare de la doi arbori, unul legat la MAI iar celălalt legat la motorul electric. În funcție de caracteristica de tracțiune dorită și de tipul MAI și al motorului electric (de turație ridicată sau de moment mare) există mai multe variante de amplasare a cuplajului sumator (Figura 1.18, Figura 1.19): înaintea schimbătorului de viteze (SV) sau după SV, în acest caz putând exista două schimbătoare, unul pe ramura MAI și unul pe ramura mașinii electrice.

Sistemul hibrid paralel cu suplimentarea momentului are următoarele moduri de funcționare:

1. *Electric pur*: Da pentru hibrid total, parțial (la pornirea din loc și în cazul manevrelor cu viteză redusă) pentru hibrid mediu, Figura 1.11c. Acest mod este limitat de capacitatea de stocare a energiei electrice și poate lipsi în cazul unor arhitecturi particulare;
2. *Pornirea MAI*: în general MAI este pornit folosind mașina electrică reversibilă (Figura 1.11d). În cazul unor arhitecturi particulare este nevoie de un sistem de pornire clasic. Pornirea MAI este posibilă atât la staționare cât și în mers.
3. *MAI pur*: Da, Figura 1.11 b;
4. *Hibrid*: Da, la asistarea MAI, Figura 1.11 d;
5. *Tracțiune cu MAI și încărcarea bateriilor*: Da, Figura 1.11 d;
6. *Recuperare de energie la frânare*: Da, cu limite pentru unele arhitecturi, Figura 1.11 c;
7. *Încărcarea bateriilor*: Da;

8. *Hibrid și încărcarea bateriilor:* Nu.

9. *Umplerea golului de moment:* Doar atunci când mașina electrică este conectată în sistemul de propulsie după schimbătorul de viteze.

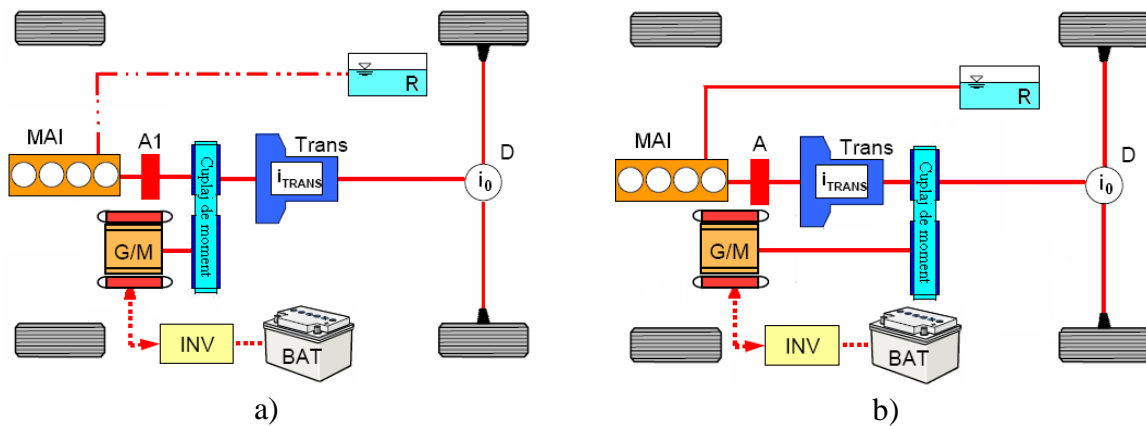


Figura 1.17 - Schema sistemului de propulsie hibrid paralel cu suplimentarea momentului cu doi arbori: a) cu mașina electrică cuplată înaintea SV; b) cu mașina electrică cuplată după SV

Sistemul de propulsie hibrid paralel cu suplimentarea momentului are următoarele avantaje și dezavantaje:

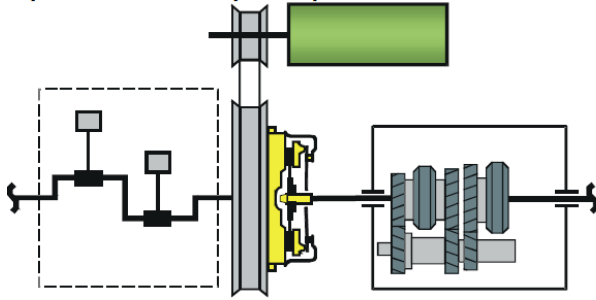
Avantaje:

- Existența unei singure mașini electrice reduce costul, dimensiunile și masa sistemului. Aceste reduceri sunt amplificate în cazul hibridelor mici și medii la care puterea mașinii electrice este redusă. Costurile și greutatea suplimentare pot fi reduse și prin eliminarea alternatorului și/sau demarorului;
- Soluția este foarte adaptată pentru hibridele mici și medii și permite o reconversie ușoară a autovehiculelor clasice putând fi oferită ca opțiune suplimentară;
- Permite reducerea cilindrului motorului (downsizing) prin folosirea motorului electric pentru asistarea MAI la demarare;
- Permite recuperarea de energie la frânare;
- Permite creșterea sarcinii MAI la funcționarea acestuia la regimurile neeconomice;
- Permite reducerea uzurii ambreiajului prin folosirea mașinii electrice la pornirea din loc și în cazul hibridelor totale funcționarea electrică pură într-o zonă cu emisii zero;
- Randament mare al transmisiei deoarece aceasta este pur mecanică.

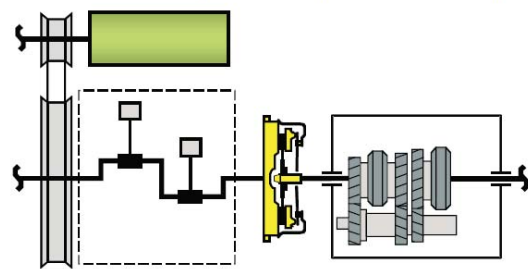
Dezavantaje:

- Nu permite menținerea MAI la regimul cel mai avantajos de funcționare (d.p.d.v. al consumului de combustibil, emisiilor poluante și uzurii), astfel MAI va trebui optimizat pentru un domeniu moment-turație mare;
- Limitează posibilitatea utilizării și a unor mașini termice neadaptate pentru tracțiune (MAI de turație mare, turbină cu gaze, motor Stirling etc.)
- Transmisia mecanică este în general mai complexă decât la un sistem clasic dacă se dorește maximizarea beneficiilor acestei arhitecturi;

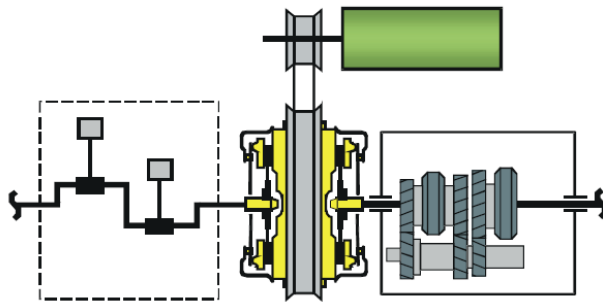
a. pe arborele cotit (volant)



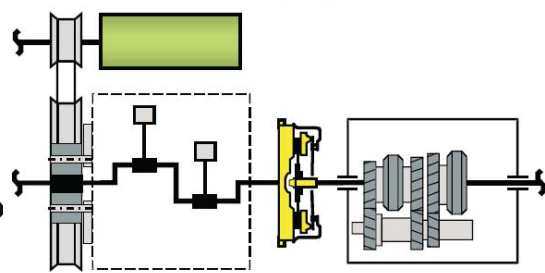
a. fără reductor suplimentar față de transmisia prin curea



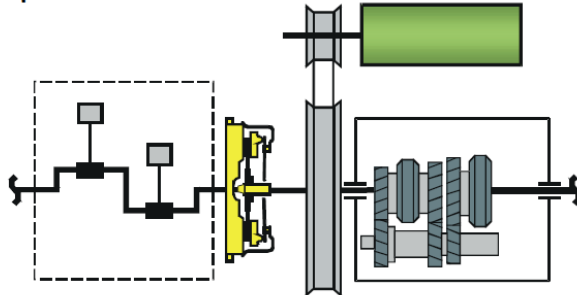
b. între ambreiaje



b. cu reductor cu 2 trepte pe arborele cotit



c. pe arborele de intrare al transmisiei



c. cu reductor cu 2 trepte pe arborele ME

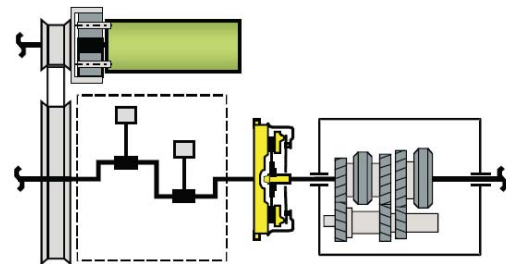


Figura 1.18 - Posibilități de amplasare a mașinii electrice la hibridul paralel cu suplimentarea momentului cu doi arbori

Figura 1.19 - Posibilități de amplasare a mașinii electrice la hibridul paralel cu suplimentarea momentului cu 2 arbori, prin cureaua de transmisie pentru accesorii

b. Sisteme hibride paralel cu suplimentarea forței de tracțiune, Figura 1.20

Este un sistem hibrid paralel la care forța de tracțiune totală este suma forțelor de tracțiune generate separat de către MAI și motorul electric la două punți diferite. Așa cum se observă, această soluție hibridă se obține prin adăugarea unei punți antrenate electric la un sistem de propulsie clasic. Când se dorește încărcarea bateriilor, fluxul de putere se transmite prin intermediul drumului și al șasiului de la MAI la mașina electrică, de unde și denumirea “prin drum” (through the road) pentru această soluție, [19]. O altă variantă este utilizarea a două motoare electrice montate în roțile punții antrenate electric.

În unele lucrări, acest tip de hibrid este privit ca o variantă a sistemului hibrid cu suplimentare de moment. Sistemul permite atât tracțiunea electrică cât și recuperarea de energie.

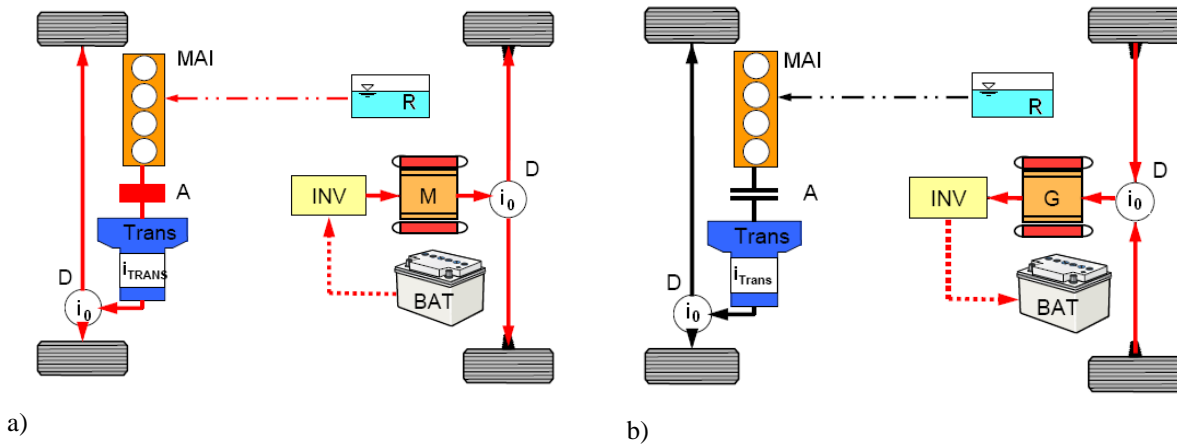


Figura 1.20 - Schema sistemului hibrid paralel cu suplimentarea forței de tracțiune: a) asistare MAI; b) recuperarea energie/tracțiune cu MAI și încărcarea bateriilor

Sistemul hibrid paralel cu suplimentarea forței de tracțiune are următoarele moduri de funcționare:

1. *Electric pur*: Da pentru hibrid total, parțial (la pornirea din loc și în cazul manevrelor cu viteză redusă) pentru hibrid mediu. Acest mod este limitat de capacitatea de stocare a energiei electrice și poate lipsi în cazul unor arhitecturi particulare;
2. *Pornirea MAI*: este nevoie de un sistem de pornire clasic. Pornirea MAI este posibilă atât la staționare cât și în mers.
3. *MAI pur*: Da;
4. *Hibrid*: Da, la asistarea MAI, Figura 1.20a;
5. *Tracțiune cu MAI și încărcarea bateriilor*: Da, Figura 1.20b;
6. *Recuperare de energie la frânare*: Da, Figura 1.20 c;
7. *Încărcarea bateriilor*: Nu;
8. *Hibrid și încărcarea bateriilor*: Nu;
9. *Umplerea golului de moment*: Da.

Sistemul de propulsie hibrid paralel cu suplimentarea forței de tracțiune are următoarele avantaje și dezavantaje:

Avantaje:

- Existența unei singure mașini electrice reduce costul, dimensiunile și greutatea sistemului. Prin menținerea neschimbată a sistemului de propulsie soluția permite o reconversie ușoară a autovehiculelor clasice putând fi oferită ca opțiune suplimentară;
- Permite reducerea cilindreei motorului (downsizing) prin folosirea motorului electric pentru asistarea MAI la demarare;
- Permite recuperarea de energie la frânare;
- Permite creșterea sarcinii MAI la funcționarea acestuia la regimurile neeconomice;
- Permite reducerea uzurii ambreiajului prin folosirea mașinii electrice la pornirea din loc și în cazul hibridelor totale funcționarea electrică pură într-o zonă cu emisii zero;
- Permite realizarea tracțiunii integrale (avantajoasă în cazul drumurilor cu aderență scăzută precum și d.p.d.v. al repartiției efortului de tracțiune pe roți).

Dezavantaje:

- Soluția nu se pretează pentru hibridele mici;
- Nu permite menținerea MAI la regimul cel mai avantajos de funcționare (d.p.d.v. al consumului de combustibil, emisiilor poluante și uzurii), astfel MAI va trebui optimizat numai pentru un domeniu moment-turație mare;
- Reducerea costului, greutateii și dimensiunilor este limitată prin necesitatea demarorului dar și a arborilor planetari suplimentari pentru puntea antrenată electric;
- Nu permite încărcarea bateriilor la staționarea vehiculului;
- Randamentul la încărcarea bateriilor folosind puterea MAI este redus deoarece se folosesc două lanțuri cinematice mecanice la care se adaugă eficiența pneurilor;
- Limitează posibilitatea utilizării și a unor mașini termice neadaptate pentru tracțiune (MAI de turație mare, turbină cu gaze, motor Stirling etc.).

c. Sisteme hibride paralel cu suplimentarea turației, Figura 1.21

Este un sistem hibrid paralel la care legătura dintre cele două motoare se face printr-un cuplaj de turație. Exemple tipice de cuplaj de turație sunt mecanismele planetare sau motoarele electrice cu stator flotant. Folosind acest tip de cuplaj pot fi realizate, la fel ca în cazul sistemelor hibride paralele cu suplimentare de moment diverse arhitecturi particulare. În Figura 1.21 este prezentat un sistem hibrid paralel cu suplimentare de viteză care folosește un mecanism planetar.

Puterea MAI este transmisă mecanismului planetar prin intermediul ambreiajului și schimbătorului de viteze. Schimbătorul de viteze modifică caracteristica de moment-turație astfel încât să satisfacă cerințele de tracțiune. Puterea motorului electric este transmisă coroanei prin intermediul unei perechi de roți dințate. În [21] sunt prezentate mai multe variante cinematice pentru mecanismul planetar.

Frânele 1 și 2 au rolul de a bloca solara și coroana mecanismului planetar pentru a realiza modurile de funcționare ale sistemului.

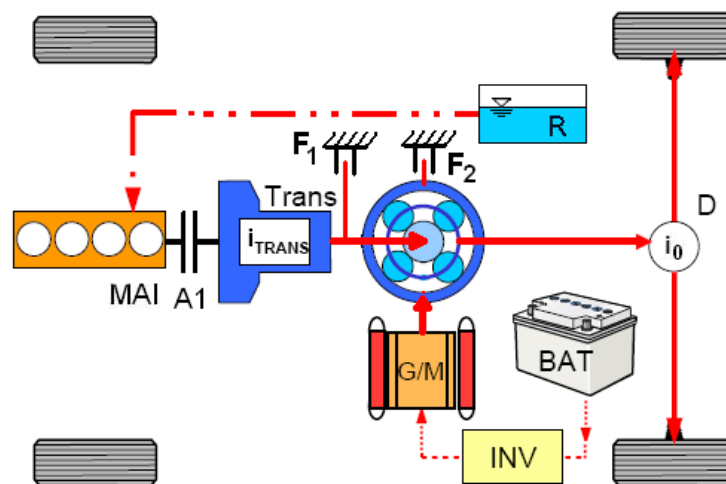


Figura 1.21 - Schema unui sistem hibrid paralel cu suplimentarea turației care folosește un mecanism planetar

Sistemul hibrid paralel cu suplimentarea turației are următoarele moduri de funcționare:

1. *Electric pur*: Da pentru hibrid total, parțial (la pornirea din loc și în cazul manevrelor cu viteză redusă) pentru hibrid mediu. Acest mod este limitat de capacitatea de stocare a energiei electrice și poate lipsi în cazul unor arhitecturi particulare;
2. *Pornirea MAI*: este nevoie de un sistem de pornire clasic. Pornirea MAI este posibilă atât la staționare cât și în mers.
3. *MAI pur*: Da;
4. *Hibrid*: Da, la asistarea MAI;
5. *Tracțiune cu MAI și încărcarea bateriilor*: Da;
6. *Recuperare de energie la frânare*: Da;
7. *Încărcarea bateriilor*: Nu;
8. *Hibrid și încărcarea bateriilor*: Nu;
9. *Umplerea golului de moment*: Nu.

Pentru sistemul din Figura 1.21, cele 5 moduri posibile de funcționare sunt prezentate în Tabelul 1.6.

Tabelul 1.6 - Modurile posibile de funcționare ale sistemului prezentat în Figura 1.21

Modul	Frâna 1	Frâna 2	MAI	Mașina electrică
Electric pur	X		oprit	motor
MAI pur		X	pornit	oprit
Hibrid			pornit	pornit
Tracțiune cu MAI și încărcarea bateriilor			pornit	generator (turație negativă)
Recuperare de energie la frânare	X		oprit	generator

Sistemul de propulsie hibrid paralel cu suplimentarea turației are următoarele avantaje și dezavantaje:

Avantaje:

- Existența unei singure mașini electrice reduce costul, dimensiunile și masa sistemului;
- Permite reducerea cilindrului motorului (downsizing) prin folosirea motorului electric pentru asistarea MAI la demarare;
- Permite recuperarea de energie la frânare;
- Permite creșterea sarcinii MAI la funcționarea acestuia la regimurile neeconomice;
- Permite reducerea uzurii ambreiajului prin folosirea mașinii electrice la pornirea din loc și, în cazul hibridelor totale, funcționarea electrică pură într-o zonă urbană cu emisii zero;
- Turațiile celor două motoare nu sunt dependente astfel încât turațiile de utilizare ale motoarelor pot fi alese independente. Acest lucru este important în cazul motoarelor Stirling și turbinelor cu caz pentru care randamentul este sesinsibil dependent de turație dar mai puțin dependent de momentul motor.

Dezavantaje:

- Costuri suplimentare datorate mecanismului planetar.

1.4.3 Sistemul hibrid mixt

Este un sistem hibrid care combină caracteristicile sistemelor serie și paralel. Astfel puterea MAI poate fi transmisă atât pe cale pur mecanică cât și pe cale pur electrică (ceea ce implică existența a două mașini electrice). În funcție de modul de transmitere a fluxului de putere acestea pot fi cu divizare de putere sau combinate.

a. Sisteme hibride mixte cu divizare de putere, Figura 1.22, [49]

Sunt sisteme care permit transmiterea simultană a fluxului de putere de la MAI la roți, atât pe cale mecanică cât și pe cale electrică. Pentru a îndeplini această cerință se folosește un sistem de cuplare de tip diferențial care poate avea unul sau mai multe rapoarte de transmitere. Aceste sisteme sunt folosite în general pentru hibridele totale, [22].

În Figura 1.22 este prezentată schema unui astfel de sistem care folosește un mecanism planetar simplu.

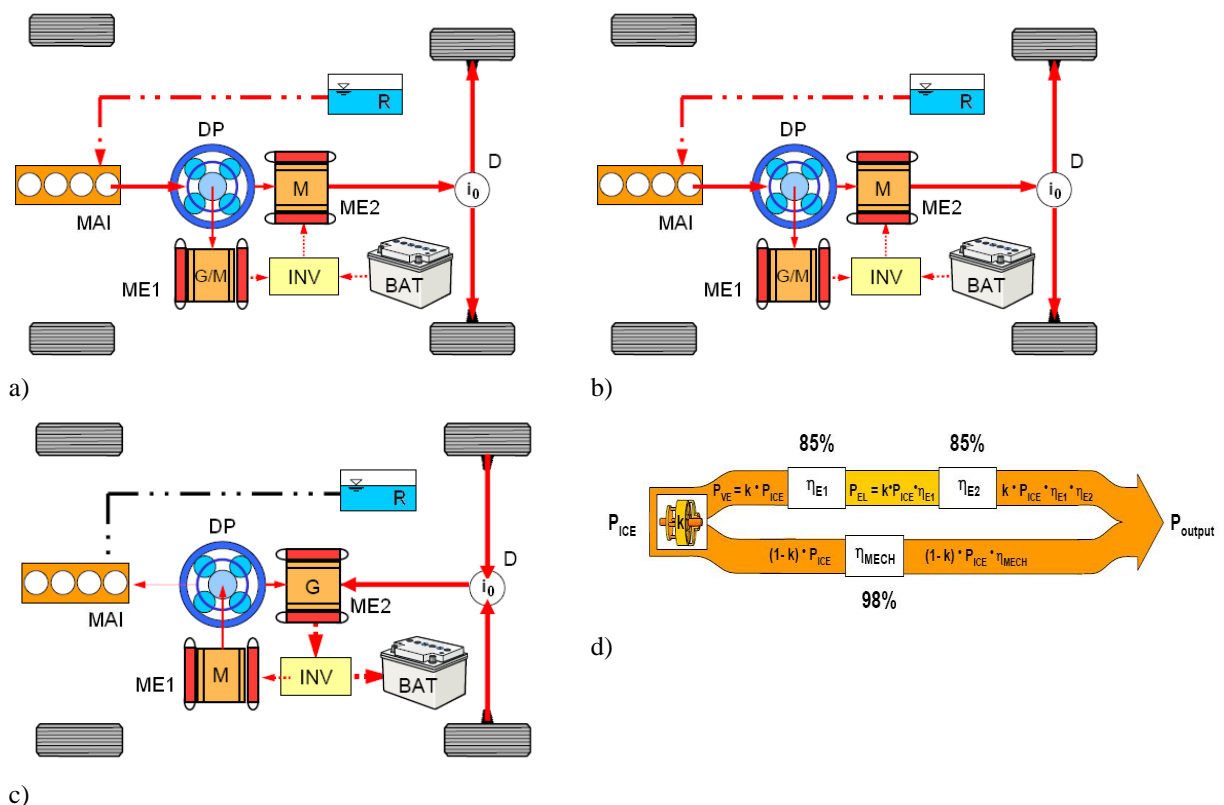


Figura 1.22 - Schema unui sistem hibrid mixt cu divizor de putere: a) tracțiune cu MAI; b) asistarea MAI; c) recuperare de energie; d) randamentele celor două ramuri de putere

Sistemul hibrid mixt cu divizare de putere are următoarele moduri de funcționare:

1. *Electric pur*: Da. Această mod este limitat de capacitatea de stocare a energiei electrice;
2. *Pornirea MAI*: Da. Pornirea MAI este posibilă atât la staționare cât și în mers.
3. *MAI pur*: Da, mașinile electrice împreună cu divizorul au rolul unei transmisii continue de putere, Figura 1.22a;

4. *Hibrid*: Da;
5. *Tracțiune cu MAI și încărcarea bateriilor*: Da;
6. *Recuperare de energie la frânare*: Da, Figura 1.22 c;
7. *Încărcarea bateriilor*: Da;
8. *Hibrid și încărcarea bateriilor*: Da;
9. *Umplerea golului de moment*: Nu este cazul.

b. Sistemul hibrid combinat, Figura 1.23

Este un sistem mixt care nu permite transmiterea simultană a fluxului de putere de la MAI la roți atât pe cale electrică cât și pe cale mecanică. Sistemul poate fi privit ca o transmisie hibridă serie la care există o legătură suplimentară de tip mecanic între MAI și roți sau ca un sistem hibrid paralel care are o mașină electrică suplimentară.

Există o mare varietate de soluții constructive dată de diversele moduri de amplasare ale mașinilor electrice și transmisiei(lor) mecanice.

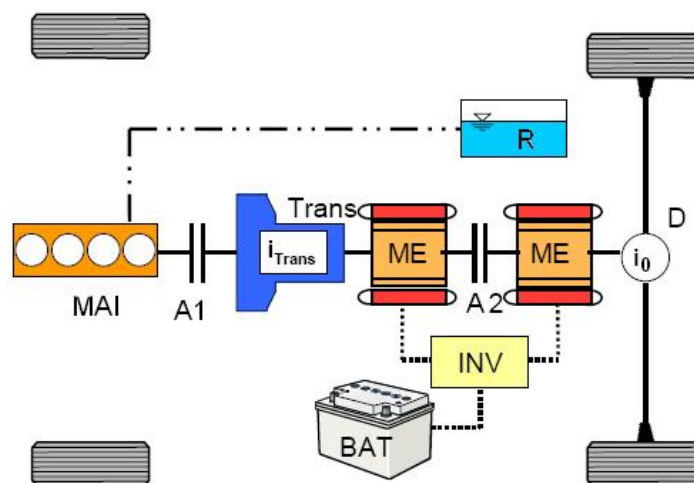


Figura 1.23 - Schema unui sistem hibrid mixt combinat

Sistemul hibrid mixt combinat are următoarele moduri de funcționare:

1. *Electric pur*: Da. Acest mod este limitat de capacitatea de stocare a energiei electrice;
2. *Pornirea MAI*: Da. Pornirea MAI este posibilă atât la staționare cât și în mers.
3. *MAI pur*: Da, fluxul de putere putând fi transmis pe cale mecanică;
4. *Hibrid*: Da;
5. *Tracțiune cu MAI și încărcarea bateriilor*: Da;
6. *Recuperare de energie la frânare*: Da;
7. *Încărcarea bateriilor*: Da;
8. *Hibrid și încărcarea bateriilor*: Da;
9. *Umplerea golului de moment*: Da.