

**Ion PETROPOL-ŞERB**



**Ion PETROPOL-ȘERB**

**CONTRIBUȚII PRIVIND STUDIUL  
GENERATOARELOR SINCRONE  
UTILIZATE ÎN TRACȚIUNEA ELECTRICĂ**



**Editura UNIVERSITARIA  
Craiova, 2023**

## **Referenți științifici**

**Prof.univ.dr.ing. Mihaela POPESCU**

**Prof.univ.dr.ing. Alexandru BITOLEANU**

Copyright © 2023 Editura Universitaria

Toate drepturile sunt rezervate Editurii Universitaria

---

## **Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României**

**PETROPOL-ȘERB, ION**

**Contribuții privind studiul generatoarelor sincrone utilizate în  
tracțiunea electrică / Ion Petropol-Șerb. – Craiova : Universitaria, 2023**

Conține bibliografie

ISBN 978-606-14-1909-8

62

© 2023 by Editura Universitaria

Această carte este protejată prin copyright. Reproducerea integrală sau parțială, multiplicarea prin orice mijloace și sub orice formă, cum ar fi xeroxarea, scanarea, transpunerea în format electronic sau audio, punerea la dispoziția publică, inclusiv prin internet sau prin rețelele de calculatoare, stocarea permanentă sau temporară pe dispozitive sau sisteme cu posibilitatea recuperării informațiilor, cu scop comercial sau gratuit, precum și alte fapte similare săvârșite fără permisiunea scrisă a deținătorului copyrightului reprezintă o încălcare a legislației cu privire la protecția proprietății intelectuale și se pedepsesc penal și/sau civil în conformitate cu legile în vigoare.

## PREFAȚĂ

Prin modul de abordare și conținutul ei, cercetarea se dorește o punte de legătură între practică și procesul educațional de formare continuă a unui personal specializat pentru lucrul în domeniul tracțiunii electrice.

În acord cu cerințele impuse de Viziunea 2050 a transporturilor feroviare din Europa, dar și cu strategiile naționale din domeniul feroviar, cercetarea s-a structurat pe două paliere:

- un prim palier a fost destinat analizei critice a bibliografiei cu privire la tendințele eficientizării sistemului de tracțiune prin optimizarea și armonizarea elementelor componente:

- pe cel de-al doilea palier s-au propus și rezolvat în manieră proprie autorului unele probleme privind nevoia de a găsi și dezvolta soluții numerice ce pot fi folosite atât în activitatea practică, cât și ca materiale educative moderne, necesare formării și educării continue a personalului implicat în studiu, proiectarea, fabricarea și întreținerea sistemelor feroviare.

În concordanță cu cerința / tendința momentului, de a digitaliza cât mai mult procesele, o preocupare specială a cercetării a fost utilizarea algoritmizării și a calculului numeric în definitivarea soluțiilor. Pentru aceasta s-au folosit variate medii de programare precum MATLAB, MathCAD, LabView, încercând să se evidențieze ideea că o bună cunoaștere a fenomenelor, instrumentelor matematice și principiilor de programare pot facilita dezvoltarea și aplicarea cu succes a soluțiilor numerice.

Ca un fir roșu, s-a urmărit permanent corelarea condițiilor de concepție cu cele de exploatare. În ceea ce privește analiza generatorului sincron de tracțiune, aceasta a avut în vedere ca, în toate etapele ei, generatorul sincron să funcționeze pe caracteristici externe corespunzătoare funcționării motorului termic la putere constantă (atât nominală cât și parțială), iar curentul de sarcină al generatorului sincron să se modifice după necesitatea motoarelor de tracțiune, ținând cont de prezența dispozitivelor de reglare.

În prima parte a lucrării se propun modele de gândire și analiză a bibliografiei de specialitate cu scopul clar definit de a surprinde exact contextul unei aplicații practice și nivelul actual de cercetare tehnică și aplicativă în domeniu.

Structurarea instrumentelor teoretice de analiză (elemente fundamentale de mașini electrice, analiza Metodei Elementului Finit), precum și utilizarea unor instrumente de calcul numeric precum MathCAD, Matlab, LabView, au permis problematizarea contextului 'Funcționarea generatorului sincron de tracțiune' și propunerea de soluții numerice originale pentru rezolvarea unor clase de subprobleme.



# CAPITOLUL I

## STUDIUL CRITIC ASUPRA EVOLUȚIEI SISTEMELOR DE TRACȚIUNE DIESEL ELECTRICE CU GENERATOARELOR SINCRONE

### I. TRACȚIUNIA FERROVIARĂ TIP DIESEL ELECTRIC. EVOLUȚII

Tracțiunea electrică și diesel electrică este o temă de cercetare dinamică și actuală, care definește un domeniu de studiu larg, cu puternic caracter inter-și trans-disciplinar, în care interacționează noțiuni de electrotehnică, electronică, mecanică, automatică/robotică, știința materialelor, chimie și informatică, în contextul aplicării unor strategii de dezvoltare locale și globale interconectate [145]. Ca parte importantă a sistemului de căi ferate, serviciu vital pentru societatea globală și coloana vertebrală a unei economii durabile [66], tracțiunea feroviară impune optimizarea permanentă a subsistemelor sale în concordanță cu cerințele tehnologice actuale. Viziunea transporturilor feroviare Europa 2050 [66], [145] le definește ca fiind scheletul ‚Mobilității ca serviciu’, pentru pasageri și ‚Livrării ca serviciu’, pentru mărfuri. Printre instrumentele necesare atingerii obiectivelor acestei viziuni se numără educația și formarea cotinuuă, standardizarea, cercetarea și inovarea, dezvoltarea managementului, calității și capacității de operare [66].

Din punct de vedere al procesului educațional și al formării continue în domeniul feroviar în Viziunea 2050 au fost identificate următoarele obiective [66]:

- prognozarea aptitudinilor necesare și analiza lipsurilor din aptitudini;
- sporirea și extinderea accesului la cursuri privind domeniul feroviar;
- sporirea calității educației în domeniul feroviar (la nivel academic și al părților interesate);
- crearea mecanismelor de a redirecționa cursuri de către instituțiile existente;
- dezvoltarea cursurilor de tip e-learning și promovarea producerii de materiale pentru cursuri;
- promovarea programelor comune de doctorat folosind programe bilaterale și multilaterale;
- promovarea programelor internaționale de Master comune în diferite domenii conexe tracțiunii feroviare;
- dezvoltarea unor cursuri scurte de instruire.

Configurația clasică a oricărui sistem de tracțiune electrică se bazează pe comanda unei mașini electrice de curent continuu sau alternativ în funcție de cuplul necesar care i se aplică. Principial, sistemul de tracțiune electrică trebuie să conțină o sursă de energie, unul sau mai multe convertizoare de energie, una sau mai multe mașini electrice, asociate printr-un calcul electronic și de instrumentație. Mașinile electrice folosite în tracțiune, constituie, în permanență, un obiect inovant din mai multe puncte de vedere printre care: cadrul normativ, realizarea lor tehnică, precum și luarea în considerare a problemelor importante de mediu.

Trecerea la utilizarea în tracțiunea feroviară a locomotivei de tip diesel electric a început la sfârșitul secolului al XIX-lea, odată cu apariția motorului cu aprindere prin compresie și s-a perfecționat până în zilele noastre când este concurată de locomotiva electrică și de locomotiva cu turbină cu gaze.

### 1.1. Tracțiunea diesel electrică: compactă și fiabilă

Pentru analiza evoluției tracțiunii diesel electrice din perspectiva modului de configurare generală a sistemului de tracțiune diesel electrică se pornește de la stabilirea unor repere cronologice primare (tabelul 1.1) prin care se evidențiază două aspecte principale ale preocupărilor vremii: obținerea unei structurii cât mai compacte și a unei fiabilități cât mai bune.

**Tabelul 1.1. Repere cronologice în configurare generală a sistemului de tracțiune diesel electrică**

An	Constructor/Cercetător	Rezultate
	Firma americană <i>General Electric</i>	Primele încercări de aplicare a motorului diesel în tracțiunea feroviară.
1912	Firma elvețiană <i>Sulzer-Winterthur</i>	Prima locomotivă diesel de succes din lume. Aspecte constructive: - motor diesel, de 1 200 CP, cu patru cilindri dispuși în V; - cuplarea direct la osiile motoare se făcea prin intermediul unor biele; - greutate de serviciu de 85 tone-forță; - viteză maximă de circulație de 100 km/h.
1920	Profesorul Iuri Vladimirovici Lomonosov	Întocmește proiectele primelor locomotive diesel de mare putere.
	Germania, Elveția, Rusia	Se construiesc prototipuri după proiectele profesorului Lomonosov și un număr mare de locomotive diesel electrice pentru caile ferate din Rusia.
1925	Statele Unite ale Americii	Este introdusă tracțiunea diesel.
1926	Uzinele Düsseldorf-Grabenberg	Locomotiva experimentală: - echipată cu un motor Diesel cu șase cilindri dispuși în linie; - putere dezvoltată de 1.050 CP; - greutate în serviciu de 131 tf; - viteză maximă de 48 km/h.



1930		Consacrarea tracțiunii diesel electrice ca urmare a optimizării grupului motor diesel – generator electric și a instalațiilor auxiliare. Condițiile de optimizare: fiabilitate și compactitate astfel încât să satisfacă cerințele transportului feroviar în condiții de siguranță și regularitate, respectiv pentru a avea loc în gabaritul impus sălii mașinilor.
1965	Compania Brush din Anglia	Primele încercări de optimizare a locomotivei diesel electrice folosind electronica de putere.

Analizând observațiile din tabellele 1.1. putem constata că, inițial, puterea locomotivelor diesel electrice a fost modestă, de 1000-1200 CP pe unitate, fiind limitată mai întâi de limitele motoarelor diesel, apoi, de limitele generatoarelor principale de curent continuu.

În următoarea etapă de evoluție, valoarea maximă a puterii instalate pe locomotivele diesel electrice nu a depășit în mod curent 2500 CP pe motor diesel într-o singură unitate. La aceste puteri s-au realizat locomotive diesel electrice mai robuste, mai simple, cu o durată de viață de circa 40 de ani, în care partea termică, partea mecanică și partea electrică erau armonios îmbinate.

O referință în acest domeniu, o reprezintă locomotiva diesel electrică 060-DA, produsă în România, după licență elvețiană, în mii de exemplare atât pentru Căile Ferate Române, cât și pentru export [33], [48].

În concluzie, după 1960 au apărut premisele creșterii puterii unei locomotive Diesel electrice prin folosirea:

1. *motoarelor Diesel semirapide*, care realizau durate de viață comparabile cu cele lente folosite până atunci, și care aveau un volum mult mai redus (circa jumătate);

2. *semiconductoarelor "uscate"*, care permiteau redresarea curentului alternativ, cu un randament mult mai ridicat și fără întreținere, marindu-le astfel fiabilitatea.

Construcțiile de locomotive diesel electrice cu puteri de peste 4000 CP au fost considerate ne semnificative, fiind realizări izolate, care nu au fost produse în serie, ci numai în număr limitat, pentru aplicații deosebite.

### **1.2. Tracțiunea diesel electrică: mărirea vitezei de deplasare**

După etapa în care scopul major era compactizarea și fiabilitatea sistemelor de tracțiune, au apărut preocupări majore pentru mărirea vitezei de deplasare a locomotivelor diesel electrice. În acest sens au fost făcute încercări încă de la începutul anilor 60 în țări dezvoltate precum: Japonia, Franța, Germania, Marea Britanie, Italia, Suedia, SUA [70], [108]. O primă generație de trenuri a căror viteză de circulație a depășit 200 km/h, au apărut

încă din anul 1964, fiind produse în Japonia, numite Shinkansen sau „trenul-glonț”. Evoluțiile viitoare ale trenurilor Shinkansen au avut ca scop optimizarea atât din punct de vedere constructiv, cât mai ales din punct de vedere al schemei electrice de tracțiune. Ca rezultat, unele dintre ele au ajuns să circule cu viteza de 300 km/h încă din anul 1997.

Rezultate remarcabile au obținut și trenurile de mare viteză construite în Franța [52], [53], [70]. Testele primului TGV au fost făcute în varianta autonomă (motoarelor electrice de tracțiune au fost alimentate de la un grup termo – electric de tip turbină cu gaz și un generator electric rotativ), obținându-se, în timpul încercărilor (8 Decembrie 1972) o viteză record pentru un tren cu tracțiune autonomă (318 km/h).

### ***1.3. Tracțiunea diesel electrică - direcție prioritară în protecția mediului***

După armonizarea sistemelor de tracțiune în vederea măririi vitezei de deplasare, sub semnul eficienței, competitivității și profitabilității, s-a impus pe piața transportului feroviar o nouă viziune, sursă a multiple schimbări, care are ca scop central situarea acesteia cât mai aproape de prioritățile clientului final (tabelul 1.2).

**Tabelul 1.2. Abordarea transportului feroviar din punct de vedere al pieței transportului**

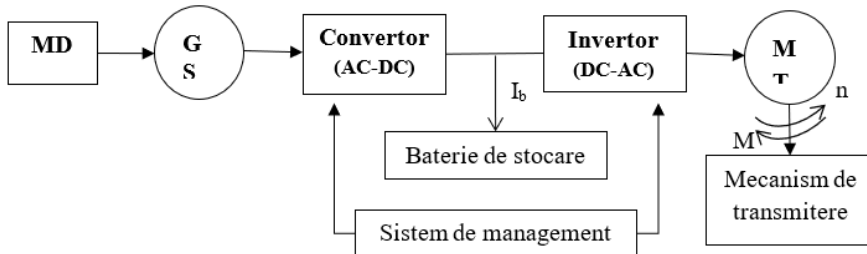
Cerințe	Oferte
<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Reabilitarea transportului</li> <li>▶ Costuri competitive</li> <li>▶ Securitatea transporturilor</li> <li>▶ Managementul informației</li> <li>▶ Timpul cerut de transport și de încărcare/ descărcare</li> <li>▶ Frecvența transportului</li> <li>▶ Aspecte ecologice</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊕ Calitatea serviciilor</li> <li>⊕ Eficiență</li> <li>⊕ Securitate</li> <li>⊕ Competitivitate și costuri comparabile cu cele ale transportului rutier</li> <li>⊕ Reducerea impactului asupra mediului</li> </ul>

Noile exigențe au influențat toate activitățile și tehnologiile implicate în activitatea de cercetare și dezvoltare a produselor de tracțiune. Între acestea se enumeră activități precum fabricarea, întreținerea și repararea locomotivelor. Din punct de vedere al protecției mediului și dezvoltării durabile, un avantaj major se poate spune că îl are industria de întreținere și reparații locomotive. Prin această activitate se încearcă atingerea cerințelor clientului și se asigură reducerea consumului de materii prime și energie deoarece necesarul de energie și materii prime pentru repararea/reciclarea diferitelor componente este semnificativ mai mic decât cel pentru înlocuirea întregului sistem. Dacă activitatea de reparații locomotive este însoțită și de

procesul inovativ de înlocuire a anumitor componente/sisteme care să asigure performanțe superioare cerute de condițiile concrete ale pieței, impactul acesteia asupra mediului este net pozitiv. Răspunsul firmelor specializate la noile exigențe ale pieței a fost ferm (tabelul 1.3) și imediat atât în preocuparea de îmbunătățire a modelelor existente cât și în propunerea de noi soluții, precum tracțiunea hibridă.

Principial, sistemul de tracțiune hibridă combină sistemul de propulsie diesel electric cu energia înmagazinată în baterii. Sistemul hibrid de energie se poate situa în apropierea secțiunii de curent continuu a convertorului principal. Încărcarea și descărcarea bateriilor este controlată de managementul computerizat al ieșirii inverterului. Sistemul poate fi implementat atât în tracțiunea de curent continuu, cât și în tracțiunea de curent alternativ.

În cazul tracțiunii hibride, în timpul frânării motorul diesel este oprit, iar motoarele de tracțiune acționează ca generatoare care, recuperând energia de frânare o direcționează pentru încărcarea bateriilor. În acest timp bateriile vor funcționa în modul încărcare. După plecare, trenurile accelerează folosind numai energia recuperată. În acest timp bateriile vor funcționa în modul descărcare. În figura 1.1 este prezentată schema de principiu a unui sistem hibrid de tracțiune.



**Fig. 1.1.** Schema de principiu a sistemului hibrid de tracțiune (modul de frânare) (prelucrare:[112])

Studiile recente au arătat că tracțiunea diesel electrică trebuie să utilizeze tracțiunea hibridă, economisind prin această tehnologie 25-30% din energie. Puterea rezultată din energia de frânare poate fi utilizată de locomotiva diesel atât la pornire, accelerare cât și în modul normal de lucru. (sursă: [161]).

**Tabelul 1.3.** Răspunsul firmelor specializate la provocările pieței

Firma	Locomotiva/Caracteristici	Cerințe impuse
	<b>Locomotiva diesel electrică Eurorunner ER 20 CL LG livrată pe piața Lithuaniană</b>	⊕ efort de tracțiune mare la pornire;

<p><i>Firma Siemens</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Echipamentul instalat în camera mașinilor locomotivei a cuprins câteva module prefabricate instalate pe mijloc având <i>avantajul intervenției ușoare</i> datorită celor două culoare formate de-a lungul încăperii.</li> <li>▶ Utilizează generator sincron în transmisia c.a.-c.a..</li> <li>▶ <i>Blocul electric standardizat</i> conține un inverter PWM pe boghiu, un chopper de frânare pe boghiu și o unitate convertor auxiliar.</li> <li>▶ Utilizarea motoarelor de tracțiune asincrone a determinat <i>reducerea masei</i> și implicit micșorarea uzurii căii de rulare</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊕ uzură mică a liniei;</li> <li>⊕ nivel ridicat de confort al pasagerilor;</li> <li>⊕ emisii acustice scăzute;</li> <li>⊕ consumul redus de combustibil;</li> <li>⊕ valori scăzute pentru emisii;</li> <li>⊕ reducerea costurilor ciclului de viață.</li> </ul>
<p><b>Aprecieri calitative pe piața românească: locomotivele Diesel electrice Hercules Rh 2016</b></p>		
<p>În urma testelor realizate, s-au putut verifica o serie de caracteristici tehnice, rezultatele reconfirmând înalte performanțe date de această locomotivă cu acționare integrală în curent alternativ. Dintre concluziile desprinse cu ocazia probelor, se pot enumera:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Are un <i>disponibil de putere superior</i> cu circa 30 % locomotivei Diesel - electrice de 2100 CP din dotarea CFR Marfă, fapt care îi permite remorcarea de trenuri de marfă cu tonaj sporit, în condiții de respectare a actualilor timpi de mers prevăzuți în livrete;</li> <li>▶ Pe anumite secții de remorcare este <i>posibilă evitarea utilizării locomotivelor împingătoare</i>, chiar la trenuri cu tonaje sporite față de cele uzuale;</li> <li>▶ Este echipată cu un sistem eficient de gestionare a efortului de tracțiune, care <i>controlează în timp real accelerația la alunecare</i> a roților, evitând apariția patinărilor;</li> <li>▶ <i>Consumurile de combustibil și lubrifianți</i> sunt inferioare cu 20-25 % celor de la LDE 2100 CP pentru tonaj normal, în condițiile remorcării de trenuri cu tonaj sporit în medie cu 20-25 %;</li> <li>▶ Dotările suplimentare ale locomotivei permit o <i>deservire facilă</i> de către personalul de locomotivă și un <i>confort</i> mult îmbunătățit pentru acesta;</li> <li>▶ Sistemul de supraveghere și control al echipamentelor locomotivei Rh 2016 asigură pentru personalul de locomotivă <i>accesul rapid la principalii parametri funcționali</i> și conferă o <i>înaltă siguranță în exploatare</i>;</li> <li>▶ Soluțiile tehnice utilizate sunt cu <i>întreținere redusă</i> în exploatare cu următoarele efecte: <ul style="list-style-type: none"> <li>- locomotiva nu trebuie retrasă din circulație pentru efectuarea programelor de întreținere curentă, decât la intervale mari de timp;</li> <li>- imobilizarea pentru revizii tehnice și reparații programate este redusă, ca urmare a volumului mai mic de lucrări;</li> <li>- disponibilitatea în exploatare a locomotivei este mare (95%);</li> <li>- întreținerea este preventivă și nu corectivă;</li> <li>- diagnoza tehnică automată are ca baza tehnică timpul de funcționare a agregatelor și, eventual, problemele semnalate în exploatare (memorate în computerul de bord).</li> </ul> </li> <li>▶ Motorul Diesel este superior normelor UIC-ERRI-3, având emisii poluante reduse și fiind bine izolat fonic, deci foarte silențios.</li> </ul>		

	<p>► Locomotiva poate asigura interoperabilitatea cu alți operatori externi, întrucât corespunde tuturor normelor internaționale de interoperabilitate.</p>	
<p><i>General Motors- ElectroMotive Departament</i></p>	<p><b>Locomotiva Class 66</b></p> <p><b>Scop:</b> Obținerea unei locomotive de marfă cu nou standard de productivitate și eficiență</p> <p><b>Schimbări</b> la locomotiva din Clasa 59:</p> <p>► pentru a scurta perioada de timp pentru autorizare în Marea Britanie a noului model s-a refolosit șasiul Clasei 59 și cabinele, cu schimbări minime.</p> <p>► Pentru a reduce consumul de combustibil, greutatea și pentru a suplimenta capacitatea rezervorului de combustibil s-a înlocuit motorul cu 16 cilindri tip 645 cu motorul cu 12 cilindri tip 710 de aproximativ aceeași putere.</p> <p>► Pentru armonizarea optimă a generatorului principal cu motorul diesel și consecințe pozitive asupra mării capacității rezervorului de combustibil și reducerii consumului de combustibil s-a înlocuit generatorul principal AR11 (4000 CP) cu un generator principal mai mic, AR6 (3300 CP).</p> <p>► Pentru a permite EWS să negocieze taxe de utilizare a infrastructurii mai scăzute pe baza unei uzuri mai scăzute a șinei de cale ferată s-au înlocuit boghiurile clasice HTC Clasa 59 cu performanțul boghiu radial EMD tip HTRC.</p> <p>► Pentru a compensa în întregime greutatea crescută a noului cadru de boghiu, pentru a îmbunătăți caracteristicile de comutație ale motorului și a se armoniza mai bine cu motorul diesel prin sprijinirea motorului pe osie prin intermediul rulmenților, s-au înlocuit motoarele de tracțiune D77 folosite la Clasa 59 cu motoare de tracțiune mai mici, D43.</p> <p>► Pentru a reduce consumul specific de combustibil și a îmbunătăți alți parametri de performanță ai locomotivei precum emisiile de gaze, controlul patinării, fiabilitatea și întreținerea s-a înlocuit sistemul analog de comandă electronică din Clasa 59 cu calculatorul de proces standard GM-EMD tip EM2000 și controlerul digital EMDEC al motorului Diesel.</p>	<p><i>Cerintele inițiale ale clientului EWS (English, Welsh &amp; Scottish Railway) ca locomotiva:</i></p> <p>⊕ să corespundă cerințelor de autorizație din Marea Britanie;</p> <p>⊕ să aibă cel mai scăzut preț posibil și cea mai scurtă perioadă de livrare;</p> <p>⊕ să aibă consum de combustibil mai scăzut decât cel din Clasa 59;</p> <p>⊕ să aibă tehnologii mai noi acolo unde se poate;</p> <p>⊕ să aibă cel mai mare rezervor de combustibil posibil.</p>
	<p><b>Locomotiva hibridă GE</b></p>	

<p><i>General Electric</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ locomotiva hibridă diesel electrică de 4400 CP;</li> <li>▶ un produs al „ecoinovației” folosind recuperarea energiei din frânare;</li> <li>▶ folosește baterii reincărcabile ce vor fi capabile, datorită performanțelor superioare, să permită operatorului să dispună de încă 2000 CP când are nevoie.</li> <li>▶ proiectată să reducă emisiile de CO<sub>2</sub> cu echivalentul a 2600 vehicule rutiere în decursul unui an.</li> <li>▶ proiectată să reducă la jumătate emisiile de NO<sub>x</sub>, față de locomotivele construite acum 20 de ani.</li> </ul>	<p><b>Scopul</b> acestei cercetări:  ⊕ crearea celei mai curate și mai eficiente, din punct de vedere al consumului de combustibil, locomotive de mare putere.</p> <p><b>Ipoteză:</b> Energia disipată în frânare de o locomotivă de 207 tone, în timpul unui an, este echivalentă cu energia folosită de 160 gospodării într-un an.</p> <p><b>Principiu:</b> Locomotiva va captura energia dinamică și o va folosi pentru a produce mai multă putere și pentru a reduce emisiile și cantitatea de combustibil necesar.</p>
--------------------------------	--	---

## II. TRANSMISIA TERMOELECTRICĂ.

Complexitatea studierii generatoarelor sincrone utilizate în tracțiunea diesel electrică este dată tocmai de constrângerile sistemului electromecanic din care acestea fac parte. Pentru a putea particulariza rezultatele cercetării fundamentale la problematica specifică generatoarelor de tracțiune, acestea trebuie privite în mediul lor de funcționare, din perspectiva cerințelor specifice transmisiei termoelectrice.

Principial, o transmisie termoelectrică este formată (figura 1.2) dintr-o mașină termică (MD) care antrenează o mașină electrică (G) și un dispozitiv de reglare (DR) al motoarelor de tracțiune (MT). Mașina termică poate fi un motor diesel, un motor cu aprindere sau o turbină cu gaz. Mașina electrică antrenată de acesta poate fi un generator de curent continuu sau un generator sincron, iar motoarele de tracțiune pot fi, de asemenea, motoare de curent continuu sau de curent alternativ. Din punct de vedere al bilanțului energetic, locomotivele acționate cu motoare diesel au puterea limitată la valoarea egală cu puterea nominală a motorului, din care se scade puterea necesară serviciilor auxiliare.

### 2.1. Generalități

Sistemul energetic al transmisiei diesel electrice este foarte complex, iar dezvoltarea sa actuală se bazează pe simulare pentru a optimiza proiectarea componentelor și controlului, dar și pentru o realizare rapidă a prototipurilor și testării. Simularea se poate realiza modular pe baza fluxului de energie. Modulele de simulare (figura 1.3) pot include: sistemul motor (MD), sistemul generator și redresor (GS+DR), mecanismele de control și acționare ale

motoarelor de tracțiune (MT), dinamica locomotivei și un modul de administrare a energiei.

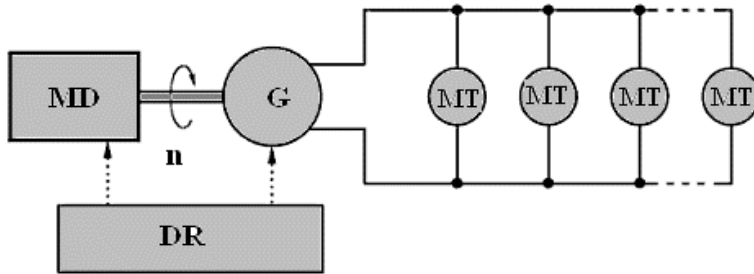


Fig. 1.2. Transmisia termoelectrică cu motor diesel (prelucrare[53])

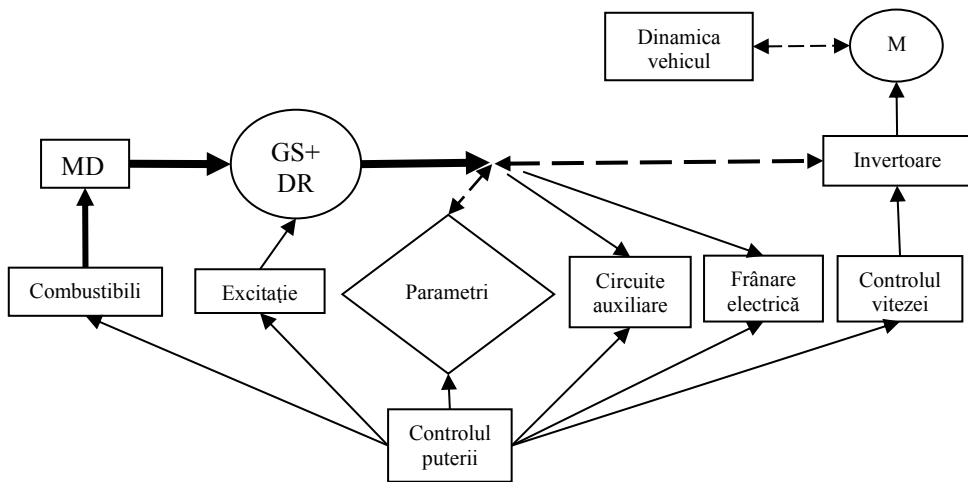


Fig. 1.3. Simularea sistemului energetic cu motor diesel specific tracțiunii feroviare (prelucrare[44])

## 2.2. Transmisia termoelectrică la locomotivele diesel

Pentru a îndeplini funcția motrică a locomotivei, legătura dintre arborele motorului diesel, amplasat în cutia locomotivei, și osiile locomotivei, se poate realiza prin intermediul unei transmisii, care poate fi de tip mecanic, electric sau hidraulic. O funcție importantă a transmisiei este de a permite schimbarea caracteristicilor de cuplu și de turație astfel încât puterea motorului diesel să fie utilizată integral, într-un domeniu cât mai larg de viteze.

În cazul transmisiei electrice, aceasta trebuie să asigure transmiterea puterii motorului spre osii prin intermediul unui generator electric cuplat cu arborele motorului diesel și al unor motoare de tracțiune electrice cuplate cu osiile motoare. Conform diagramei din figura 1.3, reglajul corespunzător al

acestor motoare poate asigura variația forței de tracțiune, asigurând dinamica locomotivei. Datorită avantajelor oferite, transmisiile electrice sunt cele mai răspândite, sunt utilizate la toate puterile și răspund următoarelor cerințe:

- ▶ trebuie să permită *demararea locomotivei* cu motorul diesel pornit (ambreierea motorului);
- ▶ trebuie să realizeze o variație a cuplului în sens invers cu turația, după o caracteristică hiperbolică;
- ▶ trebuie să realizeze continuu și automat *variația vitezei*, în funcție de cuplul rezistent;
- ▶ trebuie să permită *reglarea vitezei* cât mai economic și în limite cât mai largi, după tonajul trenului și profilul liniei;
- ▶ trebuie să aibă o *greutate redusă*, o *execuție ușoară* și un *preț cât mai scăzut*;
- ▶ trebuie să aibă un *randament ridicat*, pentru a putea folosi un motor de putere cât mai mică și pentru a nu avea pierderi însemnate de energie;
- ▶ trebuie să permită *comanda de la distanță*, să fie *ușor de manevrat*, să permită *comanda multiplă* etc..

Soluționarea tehnică a acestor cerințe a constituit ‚motorul’ construirii și experimentării diferitelor transmisii electrice care încercau să îndeplinească un număr cât mai mare dintre aceste condiții.

Din perspectiva evoluției acestora putem constata că, inițial, deoarece puterea locomotivelor diesel electrice a fost modestă, de 1000-1200 CP pe unitate, și deoarece generatorul de curent continuu alimenta direct motoarele de tracțiune de curent continuu, transmisia electrică se numea *transmisie electrică curent continuu - curent continuu*. Pe măsura schimbării exigențelor s-au dezvoltat și perfecționat transmisiile „*curent alternativ-curent continuu*”, respectiv „*curent alternativ-curent alternativ*”.

### III. UTILIZAREA GENERATORULUI SINCRON ÎN TRANSMISIA ELECTRICĂ

O analiză comparativă a transmisiei electrice „*curent continuu - curent continuu*”/ „*curent alternativ-curent continuu*” (tabelul 1.4) prezintă avantajele utilizării generatorului sincron în locul celui de curent continuu ca răspuns la problemele de exploatare întâlnite la generatorul de curent continuu.

Trecerea la transmisia electrică de tip c.a - c.c, a păstrat motoarele de tracțiune de curent continuu, dar pentru funcționarea în curent ondulat a fost necesară modificarea atât a construcției (poli cu miezuri din tole, înfășurări de compensație etc.), cât și a schemei de forță (selfuri de netezire, șunturi