



Universitatea POLITEHNICA din București

TEZĂ DE ABILITARE

REZUMAT

**Studii privind îmbunătățirea performanțelor de
tracțiune și dinamice ale vehiculelor feroviare**

Domeniul: Inginerie mecanică

Autor: Conf. dr. ing. Gabriel POPA
Universitatea *Politehnica* din București
Facultatea de Transporturi
Departamentul Material Rulant de Cale Ferată

București, 2017

Lucrarea de față prezintă principalele rezultate științifice obținute de autor în activitatea de cercetare desfășurată după obținerea titlului de *doctor inginer*, odată cu susținerea tezei de doctorat „*Contribuții privind studiul regimurilor de funcționare ale vehiculelor de tracțiune, mono - trifazate, echipate cu motoare asincrone, în condiții de exploatare*” la Universitatea Politehnică din București, în anul 1994. Teza de doctorat a fost elaborată sub coordonarea științifică a d-lui prof. univ. dr. ing. Constantin Bălă, Facultatea de Electrotehnică, Departamentul Mașini și Acționări Electrice, Universitatea Politehnică din București.

Activitatea de cercetare științifică a autorului se înscrie în aria cercetărilor permanent orientate spre identificarea unor soluții care să conducă la îmbunătățirea performanțelor vehiculelor feroviare, fiind axată pe mai multe direcții de cercetare care au vizat:

- Sporirea performanțelor de tracțiune ale vehiculelor feroviare motoare prin optimizarea parametrilor de reglare, comandă și control a acționării electrice, atât pentru regimurile permanente, cât și pentru regimurile dinamice de funcționare;
- Eficientizarea funcționării generatorului sincron în vederea utilizării stabile și eficiente a transmisiei în c.a.-c.a. de pe vehiculele de tracțiune diesel-electrice;
- Reducerea solicitărilor osiilor montate și a boghiurilor de locomotivă pentru asigurarea siguranței circulației și a securității pasagerilor;
- Sporirea performanțelor dinamice ale vehiculelor feroviare la viteze mari de circulație prin explorarea posibilităților de îmbunătățire a calității și stabilității mersului și reducere a solicitărilor produse asupra căii de rulare;
- Exploatarea în condiții de economicitate a vehiculelor feroviare pe baza unui sistem unificat de transmitere și gestionare a datelor de pe vehiculele de tracțiune.

Teza este structurată în două secțiuni: (A) Rezumat și (B) Realizări științifice și profesionale și planuri de evoluție și dezvoltare a carierei, ultima secțiune cuprinzând la rândul ei, subsecțiunile (B.1) Realizări științifice, profesionale și academice, (B.2) Propunere de dezvoltare personală și (B.3) Bibliografie.

Secțiunea B subsecțiunea (B.1) este împărțită în 8 capitole:

Capitolul 1. Aspecte relevante ale activității de cercetare și ale activității didactice.

În acest capitol sunt prezentate rezultatele relevante ale autorului în activitatea științifică și profesională. Acestea se referă la:

- *Activitatea de elaborare și publicare lucrări*, care s-a concretizat în:
 - 78 articole științifice publicate, dintre care: 14 articole indexate ISI (4 articole în reviste cotate ISI cu factor de impact, 10 articole în proceedings-uri indexate ISI), 7 articole în reviste indexate BDI, 15 articole în proceedings-uri indexate BDI, 8 articole în reviste de specialitate neindexate, 32 articole publicate în volumele unor simpozioane și conferințe științifice naționale și internaționale neindexate (10 - conferințe internaționale; 24 - conferințe naționale);
 - 4 cărți de specialitate, 4 îndrumare de laborator și 2 îndrumare de proiectare.

➤ *Activitatea de cercetare* desfășurată după 1994, data susținerii tezei de doctorat, este reliefată prin rezultatele obținute atât ca cercetător independent, cât și în cadrul unor echipe de cercetare în 4 proiecte de cercetare câștigate prin competiție națională, dintre care 1 ca director de proiect și 3 în calitate de responsabil din partea UPB. Ca urmare a activității de cercetare sunt depuse 4 cereri de brevet de invenție. De asemenea, se menționează calitatea de coautor în cadrul acestor 4 cereri de brevet de invenție.

➤ *Activitatea didactică.* Într-o prezentare sintetică, se poate arăta că activitatea didactică s-a desfășurat timp de 26 ani în Departamentul Material Rulant de Cale Ferată, Facultatea de Transporturi, Universitatea Politehnică din București. Este de demn de menționat aici contribuția autorului la: punerea bazelor pentru 5 discipline noi la programul de studii de licență *Vehicule pentru transportul feroviar*, ciclul de 5, respectiv 4 ani și pentru 10 discipline noi la programele de studii de master *Vehicule feroviare pentru mari viteze*, *Fenomene de interacțiune vehicul-cale de rulare*, *Ingineria mediului și managementul calității în domeniul feroviar*.

Capitolul 2. Analiza regimurilor de funcționare a motoarelor de tracțiune asincrone.

În acest capitol sunt analizate particularitățile regimurilor permanente de funcționare a motoarelor electrice de tracțiune, de comandă și reglare a motoarelor electrice de tip asincron care stau la baza adoptării celor mai bune soluții constructive în vederea satisfacerii cerințelor impuse de exploatarea vehiculelor de tracțiune feroviare. În fapt, sunt analizate regimurile de pornire, demarare, funcționare cu forța de tracțiune constantă, funcționare la limita de aderență, funcționare cu putere constantă și frânare, luând în considerare corelația dintre parametrii mecanici ai vehiculului și parametrii de reglare ai motorului de tracțiune de tip asincron trifazat.

Capitolul 3. Funcționarea motoarelor de curent alternativ de tip asincron în regim de tracțiune.

Acest capitol prezintă o analiză a regimurilor tranzitorii ale motorului de tracțiune de tip asincron trifazat, în concordanță cu cerințele și soluțiile prezentate în capitolul 2, în vederea reducerii timpului de răspuns al sistemului de acționare. Din această perspectivă, sunt analizate regimurile de tracțiune în unități relative și regimurile tranzitorii ale motorului de tracțiune de tip asincron cu rotorul în scurtcircuit prin metoda separării fazelor. Capitolul mai cuprinde rezultatele unui studiu privind acționarea electrică cu motoare asincrone ale unei locomotive electrice, în regim de pornire, demarare, putere constantă și în regim dinamic, dezvoltat pe baza modelului matematic prezentat în capitolele 2 și 3. Aceste rezultate sunt obținute în cadrul unei cercetări ample, care a avut ca obiectiv modernizarea locomotivei electrice LE 040 – 3400 kW în vederea creșterii puterii instalate la 6400 kW prin echiparea acesteia cu un nou sistem de acționare, comandă și reglare.

Capitolul 4. Reglarea motoarelor electrice de tracțiune de tip asincron de pe vehiculele de feroviare.

Acest capitol este dedicat prezentării soluțiilor de reglare a motoarelor de tracțiune asincrone care echipează vehiculele cu ghidare pe șine (locomotive electrice sau diesel electrice, trenuri electrice sau diesel electrice, rame electrice de metrou sau tramvaie). Aceste soluții se referă la:

- Reglarea motoarelor de tracțiune prin variația frecvenței și tensiunii de alimentare;
- Reglarea vitezei motorului electric de tracțiune după curentul statoric și turație;
- Reglarea motorului electric de tracțiune după tensiunea statorică și turație;
- Reglarea vitezei la frecvență de alunecare constantă;
- Modificarea vitezei cu reglarea indirectă a fluxului prin intermediul curentului statoric și frecvenței rotorice;
- Reglarea turației la flux constant prin impunerea curentului cu controlul tensiunii electromotoare;
- Reglarea motoarelor electrice de tracțiune utilizând informația de putere reactivă.

Capitolul 5. Tracțiunea diesel electrică cu transmisie în curent alternativ – curent alternativ.

Autorul face o analiză asupra transmisiei diesel-electrice în c.a.-c.a., plecând de la caracteristicile generatorului sincron (caracteristicile de putere și variație de cuplu rezultat în funcție de unghiul de sarcină). În acest context, sunt studiate:

- Zona de funcționare stabilă a generatorului;
- Caracteristica de cuplu pentru generatorul cu poli înecați;
- Fenomenul de pendulare a mașinii asincrone;
- Regimurilor dinamice de funcționare.

Capitolul 6. Sarcini suplimentare introduse de acționarea osiilor.

Analiza sarcinilor suplimentare introduse de acționarea osiilor a fost făcută în funcție de tipul vehiculului motor și tipul de acționare a osiilor, respectiv pentru acționări individuale:

- cu motoare electrice de tracțiune semi-suspendate, întâlnite în cazul vehiculelor motoare cu transmisii electrice de curent continuu (locomotive diesel-electrice sau locomotive electrice de puteri mici și mijlocii) și viteze maxime de circulație care nu depășesc 120 km/h;
- cu motoare electrice de tracțiune suspendate și reductoare semi-suspendate, în cazul vehiculelor cu transmisii electrice de putere medie și mare (locomotive diesel-electrice și electrice) și viteze maxime de circulație care depășesc 140 km/h;
- cu motoare electrice de tracțiune și reductoare complet suspendate, întâlnite în cazul vehiculelor electrice de mare viteză,

sau pentru acționări în grup – destinate vehiculelor motoare cu transmisii mecanice și hidraulice:

- atacul de osie cu braț de reacțiune orizontal;
- atacul de osie cu braț de reacțiune vertical.

Se face un studiu complet al forțelor de tracțiune introduse de către motorul de tracțiune și al forțelor permanente provenite de la greutatea motorului de tracțiune și de la reductor.

O parte importantă a acestui capitol o reprezintă secțiunea dedicată elaborării modelelor experimentale pentru analiza operațională și modală a motoarelor electrice de tracțiune și prezentării acestor analize efectuate pentru motorul de tracțiune asincron MTA2-ES-108 fabricat la Softronic S.A. Studiul ca fost realizat în cadrul unui proiect de cercetare din care autorul a făcut parte în calitate de responsabil UPB (*Program PN-II-PT-PCCA-2011-3, Soluții pentru îmbunătățirea performanțelor dinamice și a securității la impact a vehiculelor de tracțiune feroviară pentru alinierea la cerințele impuse de normativele europene. Contract finalizat în noiembrie 2016*).

Capitolul 7. Analiza solicitărilor boghiurilor de locomotivă.

În acest capitol se face o analiză completă a sarcinilor suplimentare care solicită fusurile de osie și cadrul de boghiu în cazul vehiculelor motoare pe două și trei osii, considerând toate variantele de poziționare a motorului de tracțiune și tipurile de acționare a osiilor. Tot în acest capitol se prezintă:

- elaborarea unui model experimental pentru analiza cu elemente finite a cadrului de boghiu a Locomotivei Electrice cu Motoare Asincrone modernizată (LEMA);
- elaborarea unui model experimental pentru analiza modală experimentală a cadrului boghiului LEMA;
- metodologia pentru proiectarea și verificarea structurală a cadrelor de boghiu ale locomotivei cu ajutorul unui pachet software dedicat pentru proiectare, verificare și validare structurală prin metode combinate, analitice și experimentale;
- evaluarea analitică a cadrului boghiului LEMA la sarcinile impuse prin normativele europene în domeniu.

Pentru a fi complet, un model analitic dezvoltat prin analiza cu elemente finite (FEM) necesită validare pe baza datelor obținute prin analiza modală experimentală (EMA). Prin aplicarea procedurilor combinate de analiză teoretică și experimentală, prezentate în acest studiu, se poate evalua cadrele de boghiu ale vehiculelor de tracțiune în conformitate cu standardele europene în domeniu. Metoda de analiză prezentată este utilă companiilor care proiectează și fabrică boghiuri pentru vehiculele feroviare, în vederea omologării acestora. Studiul ca fost realizat în cadrul unui proiect de cercetare din care autorul a făcut parte în calitate de responsabil UPB (*Program PN-II-PT-PCCA-2011-3. Soluții pentru îmbunătățirea performanțelor dinamice și a securității la impact a vehiculelor de tracțiune feroviară pentru alinierea la cerințele impuse de normativele europene*).

Capitolul 8 Soluții de optimizare a transmiterii, în sistem unificat, a fluxului de date tehnice ale locomotivelor .

Tematica capitolului abordează, într-un cadru complex de cercetări, problemele privind eficientizarea și optimizarea transportului feroviar de marfă și călători, creșterea

calității și a siguranței circulației prin implementarea celor mai noi tehnologii pe vehiculele feroviare.

Soluția propusă are în vedere realizarea și implementarea unor sisteme de diagnoză, control, evidență, analiză și gestiune a parametrilor tehnici ai locomotivei, cum ar fi:

- poziția vehiculului în teritoriu și viteza de circulație;
- parametri tehnici ai motoarelor electrice de tracțiune și serviciilor auxiliare, circuitele de comandă, monitorizarea tensiunii la linia de contact, etc;
- evidența și monitorizarea contorului de energie electrică și a instalației de siguranță și vigență de pe vehiculul de tracțiune;
- monitorizarea activității personalului de pe vehicul și a comunicațiilor acestora în sistem video și audio.

Aplicarea unei astfel de gestiuni include transmiterea, recepționarea și analiza complexă a tuturor acestor parametri, la nivelul unui Dispecerat Central, de către operatorul care urmărește vehiculele feroviare motoare din parcul exploatat.

În secțiunea B, subsecțiunea (B2) se prezintă planurile de evoluție a carierei profesionale, științifice și academice:

Capitolul 9. Planuri de evoluție și dezvoltare a carierei

În acest capitol autorul prezintă obiectivele planurilor de evoluție și dezvoltare a carierei profesionale.

Obiectivele și țintele activității de cercetare vor urmări tendințele de dezvoltare a transportului pe șine în vederea asigurării rolului principal al acestui sistem de transport în dezvoltarea economică, socială și a protecției mediului. În acest sens, se conturează câteva direcții de cercetare care vizează:

- Identificarea unor soluții de comandă și reglare pentru vehiculele de tracțiune electrică, atât pentru transportul urban cât și pentru cel feroviar, pentru creșterea performanțelor de tracțiune prin controlul fenomenului de slip-slide și controlul vectorial al motorului de tracțiune.
- Optimizarea consumurilor energetice ale vehiculelor de tracțiune și recuperarea energiei consumată de acestea.
- Optimizarea exploatării vehiculelor de tracțiune prin dezvoltarea de noi algoritmi pentru transportul urban, (ex. ITS – Intelligent Traffic System) și implementarea conceptului de ITM - Intelligent Traffic Multimodal pentru transportul de suprafață și transportul subteran;
- Creșterea siguranței, securității și confortului prin adoptarea celor mai bune soluții constructive ale vehiculelor cu ghidare pe șine.

În Secțiunea B - subsecțiunea (B3) sunt cuprinse referințele bibliografice asociate conținutului primelor două secțiuni.