

Universitatea Tehnică din Cluj Napoca  
Facultatea de Inginerie Electrică

## **TEZA DE ABILITARE**

**-Rezumat-**

**Abordări de dezvoltare pentru sisteme  
electromecanice aplicate la electrificarea  
transporturilor**

**Conf.Dr.Ing. Mircea RUBA**

**Cluj-Napoca**

**2022**

Prezenta teză intitulată *Abordări de dezvoltare pentru sisteme electromecanice aplicate la electrificarea transporturilor* scrisă de dr. Mircea RUBA subliniază o imagine generală despre cariera sa de cercetare și academică începută în 2008 până astăzi. Motivația acestei lucrări este obținerea abilitării pentru coordonarea tezelor de doctorat în domeniul ingineriei electrice în cadrul Universității Tehnice din Cluj-Napoca, România. Cariera sa a început cu doctoratul. Susținerea tezei în 2010, urmată de o perioadă postdoctorală de 11 luni în cadrul Universite Libre de Bruxelles, Belgia. După această perioadă s-a întors la Universitatea Tehnică din Cluj Napoca și a devenit asistent la Departamentul de Mașini Electrice și Acționări, unde a evoluat, devenind conferențiar în 2022. Eforturile sale generale de cercetare și academice s-au concentrat pe mașini electrice, electronică de putere, controlul acelor sisteme, simulări în timp real și testarea tip Hardware in the Loop (HIL). Îmbinând în permanență interesele sale de cercetare cu activitatea academică, a predat mașini electrice, electronică, integrare de sisteme respectiv modelare și testare de sisteme electromecanice studenților de la nivel licență și master. Făcând acest lucru, a reușit să publice multe lucrări de cercetare, cărți și capitole de carte precum și brevete. A fost membru în calitate de cercetător la multe proiecte de cercetare naționale și internaționale, a fost director de proiect a două dintre ele, coordonator al altora, unele fiind direct legate de cooperări cu industria.

Prezenta teză este compusă din 7 capitole, inclusiv introducerea și perspectivele sale de viitor. Referințele atașate studiului reflectă pe scurt cantitatea de studii de cercetare pe care le-a digerat de-a lungul carierei sale până acum.

Primul capitol introduce cititorul în conceptul general al tezei evidențind subiectele care vor fi dezbătute în fiecare dintre capitolele următoare.

Al doilea capitol intitulat **Metode de analiză a sistemelor electromecanice** prezintă metoda pentru studiul mașinilor electrice prin analiză cu elemente finite (FEA) cu un exemplu bazat pe o mașină sincronă cu magnet permanent. Din acest punct, se efectuează un pas înainte către analiza la nivel de sistem în care se dovedește că utilizarea modelelor hibride, care conțin expresii analitice și date bazate pe FEA, poate atinge o precizie ridicată reducând timpul și puterea de calcul necesare. Exemplul se concentrează pe dezvoltarea unui model de simulare pentru o mașină cu reluctanță comutată. O parte a acestui model este proiectată cu modele analitice care calculează tensiunile și curenții, în timp ce dezvoltarea cuplului și variațiile fluxului magnetic sunt preluate din modelul FEA al mașinii. Folosind date preînregistrate, combinarea celor două abordări diferite într-una singură este o soluție simplă și lucrativă. Capitolul continuă cu un formalism de modelare, numit Reprezentare Macroscopică Energetică (EMR), dezvoltat de Universitatea din Lille în laboratorul L2EP. EMR este de fapt un standard

organizațional pentru orice model de simulare bazat pe conceptele de acțiune și reacțiune din fizică. Utilizând EMR, designerii pot face schimb de modele sau le pot modifica pe cele existente cu un efort minim. O altă caracteristică a EMR este că pentru orice model conceput în această filozofie, crearea buclei sale de control necesită doar inversarea matematică a căii de acțiune. Procedând astfel, se evită posibilitatea de a crea bucle de control greșite. De asemenea, proiectantul de control nu trebuie să folosească scheme greu de înțeles, dar poate crea propriile sale bucle care sunt reflectate din modelul sistemului. EMR a fost introdus atât în activitățile academice, cât și în cele de cercetare ale lui Mircea RUBA și acum ajunge la studenți, ajutându-i pe aceștia să înțeleagă și să aibă o imagine clară despre proiectarea buclelor de control pentru sistemele de simulare.

Cel de-al treilea capitol intitulat **Modelarea și analiza multi-nivel a sistemelor electromecanice** combină conceptele din capitolul anterior exemplificând filozofia proiectării modelelor pe diferite abordări. Acesta din urmă se referă la construirea de modele pentru același sistem, dar cu o complexitate și acuratețe tot mai mare. Pentru validarea generală a unui concept sunt utilizate modele mai simple, în timp ce cele cu complexitate și acuratețe crescute sunt folosite pentru o analiză mai precisă și mai detaliată. Folosind organizarea EMR, un model de mașină sincronă cu magnet permanent este exemplificat cu 3 niveluri diferite de complexitate. Acestea pleacă de la modelul clasic cu inductanțe constante la variația fluxului magnetic pe fază preluat din FEA. Acestea din urmă sunt incluse în model în tabele de căutare, combinate cu ecuațiile analitice ale mașinii. Un alt astfel de exemplu este prezentat pentru modelele de celule de baterie Li-Ion și pentru supercondensatori. Complexitatea se bazează pe tipul de abordare a modelului, dar și pe procesele de identificare a parametrilor. Concluziile acestui studiu subliniază beneficiile și dificultățile în crearea unor modele de sistem complexe și foarte precise.

Al patrulea capitol intitulat **Toleranța la defecte a sistemelor electromecanice** dezbată caracteristicile care trebuie adăugate diferitelor sisteme pentru a asigura funcționarea continuă a acestora în ciuda apariției defecțiunilor. Sunt prezentate câteva exemple care arată modificările care trebuie efectuate atât pentru mașini, cât și pentru structurile convertoarelor electronice pentru a atinge abilități tolerante la erori. Capitolul se încheie cu o metodă patentată pentru detectarea și compensarea defecțiunilor senzorilor de curent. Aceasta este o procedură care poate fi încorporată în procesorul principal al oricărui convertor trifazat. Folosind o configurație experimentală, a fost dovedit comportamentul acestei metode, operând la detectarea și compensarea defecțiunilor fără nicio perturbare în sistemul global.

Al cincilea capitol intitulat **Controlul sistemelor electromecanice** dezbată metodele de control aplicate diferitelor tipuri de sisteme. Inițial, sunt

prezentate metode de liniarizare a cuplului pentru mașina cu reluctanță comutată, demonstrând că, în ciuda riplurilor sale naturale de cuplu, această mașină, cu un control adecvat, poate furniza cuplu liniar sarcinii sale. Acest lucru, combinat cu simplitatea mașinii și electronica sa de putere, face ca SRM să fie un bun candidat pentru orice sistem electromecanic. Capitolul prezintă metodologia de proiectare a controlului și reguletoarelor și pentru mașinile sincrone trifazate. Procedând astfel, cititorul poate adapta metoda la propriile nevoi folosind, de asemenea, conceptul EMR pentru a proiecta bucla de control corectă. Toate aceste detalii se găsesc în acest capitol. Studiul se încheie cu prezentarea controlului sistemului complex exemplificat de unitatea de tracțiune completă a unui vehicul electric urban furnizat din supercondensatori. Modelul include și stația de încărcare necesară, alimentată de la rețeaua de 230Vac. Din nou, folosind EMR, buclele de control sunt proiectate ca căi de acțiune inversă pentru fiecare dintre ansamblurile considerate ale sistemului.

Capitolul șase, intitulat **Testarea sistemelor electromecanice** se concentrează pe metodele de testare X-in the Loop aplicate atât în activitățile de cercetare din industrie, cât și din mediul academic. Capitolul începe cu un exemplu de construire a unui Digital-Twin (DT) pentru un banc de testare real folosind două procesoare tip FPGA interconectate. Legătura lor reproduce comunicarea reală dintre un banc de testare și unitatea sa de control, deoarece DT-ul este împărțit în cele două FPGA-uri. Unul reproduce bancul de testare, iar al doilea unitatea electronică de control. Capitolul continuă cu conceptul X-in the Loop, prezentând exemple de testare hardware în diferite configurații. X reprezintă hardware (H), software (S), model (M) și procesor (P) în buclă. Un exemplu particular (BIL) de *baterie în buclă* este prezentat în care o baterie reală este testată, în timp ce întregul vehicul electric alimentat de aceasta este simulat într-o abordare complexă. Același test este apoi efectuat prin emularea bateriei cu o sursă de alimentare hibridă. În cele din urmă, este efectuată testarea Hardware in the Loop (HIL). Analiza comparativă efectuată dovedește beneficiile utilizării oricăreia dintre abordările menționate mai sus în condiția unor modele de simulare precise și construite cu acuratețe. O altă abordare modernă este prezentată în același capitol, anume: simulare și testare bazate în cloud în timp real. Aceasta împarte simularea (sau testarea) în dinamică lentă, cum ar fi mecanica unui vehicul, rulat pe un calcul cloud și dinamică rapidă, cum ar fi controlul modelelor electrice, rulat pe o un procesor de timp real în laborator. Legătura dintre cele două entități se realizează prin protocoale de internet. În ciuda distanțelor mari dintre computerul cloud și laborator, s-a dovedit că această abordare este un instrument lucrativ care poate ajuta cercetătorii din diferite laboratoare din întreaga lume să folosească aceleași instrumente de analiză.

Ultimul capitol al tezei subliniază o imagine a candidatului despre perspectivele sale de viitor atât pentru activitățile academice, cât și pentru cele de

cercetare. În acest capitol, autorul prezintă pe scurt rezultatele și realizările sale atât în cariera de cercetare, cât și în cariera academică, legându-le de evoluțiile viitoare. Folosind cunoștințele acumulate în activități de cercetare autorul face tranziția de la metodele de predare clasice la cele moderne. Acest lucru va pune la dispoziția studentului informații care le vor promova abilitățile cu metode și tehnici actuale legate de cercetarea și dezvoltarea ingineriei electrice.

Teza se încadrează în domeniul ingineriei electrice care se ocupă de concepte moderne folosite pentru dezvoltarea, analiza și testarea sistemelor. Conținutul dovedește abilitățile autorului de a efectua cercetări viitoare prin conducerea activităților de doctorat cu studenți în domeniul Ingineriei Electrice.