



MINISTERUL EDUCAȚIEI
Universitatea Națională de Știință și Tehnologie POLITEHNICA București
Blvd. Splaiul Independenței, nr. 313, sector 6, București

TEZĂ DE ABILITARE – REZUMAT

**STRATEGII AVANSATE DE CONTROL ȘI METODE DE ÎMBUNĂȚIRE
A EFICIENȚEI ENERGETICE A SURSELOR HIBRIDE DE ENERGIE
REGENERABILĂ**

HABILITATION THESIS – ABSTRACT

**ADVANCED CONTROL STRATEGIES AND METHODS TO IMPROVE
THE ENERGY EFFICIENCY OF HYBRIDE RENEWABLE ENERGY
SOURCES**

În domeniul: Electronică, Telecomunicații și Tehnologii Informaționale

AUTOR: Conf.dr.ing. Mihai OPROESCU

Web of Science ResearcherID: CAF-3256-2022

Scopus Author Identifier 24766976800

ORCID number: 0000-0003-0324-0846

UEF –ID uefiscdi.gov.ro: U-1700-030Q-173

REZUMAT

Prin teza de abilitare îmi propun să prezint activitatea profesională, dar și activitatea didactică și de cercetare desfășurate după conferirea titlului de doctor în domeniul Inginerie Electronice și telecomunicații cu tema "Modelarea și optimizarea fluxurilor de putere din sisteme invertor alimentate de la pile de combustie". Competențele profesionale ce stau la baza acestei teze reprezintă rezultatul *pregătirii profesionale* și al experienței dobândite în *cercetarea științifică* pe durata activității academice.

Rezultatele originale prezentate în teza de abilitare „*Strategii avansate de control și metode de îmbunătățire a eficienței energetice a surselor hibride de energie regenerabilă*” sunt adaptate domeniului ingineriei electronice, telecomunicațiilor și nanotehnologiilor și este organizată în trei părți, al căror conținut este prezentat în cele ce urmează.

Partea I, Cercetările științifice desfășurate prezintă o sinteză a realizărilor profesionale și academice din perioada 2011-2023 din domeniul surselor de energie regenerabilă în general, dar, în particular, au fost urmărite 3 direcții principale:

- cercetări științifice axate pe controlul surselor de energie regenerabilă cu scopul obținerii unei eficiențe ridicate în funcționarea acestor surse. Strategiile de control propuse și implementate sunt originale, au propus noi abordări de cercetare specifică și s-au axat pe cercetări privind optimizarea fluxurilor de putere.
- cercetări științifice în domeniul managementului surselor hibride de energie regenerabilă cu aplicabilitate atât în microrețelele de energie, dar și pentru autoturisme electrice sau hibride. Aceste cercetări din primele două direcții au fost concretizate prin publicații în jurnale indexate sau la conferințe internaționale, dar și prin implementarea ideilor în cadrul mai multor granturi de cercetare.
- cercetări științifice bazate pe îmbunătățirea performanțelor de fabricație a surselor de energie electrică regenerabilă de tip celule solare prin depunerea de straturi suplimentare de nano-oxizi metalici, obținute în urma implementării a două granturi prin programul SFERA III / Horizon 2020.

Validarea cercetărilor și confirmarea originalității acestor cercetări științifice sunt susținute de lucrările publicate în jurnale de specialitate, recunoașterea importanței rezultatelor obținute pentru domeniul cercetat regăsindu-se în cele peste 209 citări (din care 195 citări fără a lua în considerare autocitările) în publicații de prestigiu.

Abordarea teoretică a cercetării științifice în domeniul energiei regenerabile s-a concentrat pe înțelegerea principiilor fizice și chimice care stau la baza acestor surse de energie. Cercetările teoretice au folosit o varietate de metode pentru a aborda problemele energiei regenerabile, cum ar fi: Modelarea matematică; Simularea numerică; Experimentele de laborator; Studiile de teren. Abordarea metodologică a cercetării științifice în domeniul energiei regenerabile s-a concretizat pe dezvoltarea de noi metode și tehnici pentru a studia sursele de energie regenerabile și tehnologiile utilizate de conversie a energiei. În cadrul cercetării metodologice a energiei regenerabile au fost abordate subiecte precum: Modelarea matematică a surselor de energie regenerabile; Simularea numerică a sistemelor energetice regenerabile; Metode de testare și măsurare a tehnologiilor energetice regenerabile; Tehnici noi pentru generarea de energie regenerabilă. Abordarea experimentală a cercetării științifice a energiei regenerabile a urmărit testarea și măsurarea performanței noilor tehnologii energetice regenerabile. Studiile de teren, efectuate în condiții reale, mi-au permis să evaluez performanța tehnologiilor energetice regenerabile în medii complexe. Abordarea de programare se regăsește în dezvoltarea de noi programe și aplicații pentru a sprijini cercetările experimentale. Acest lucru a inclus dezvoltarea de noi tehnologii de rețele inteligente și de sisteme de management al energiei.

Rezultatele cercetărilor științifice și profesionale se reflectă în publicarea de articole indexate în baze de date ISI sau în alte baze de date internaționale, lucrări susținute la conferințe, publicarea de cărți și capitole în cărți de specialitate, participarea la proiecte de cercetare naționale și internaționale.

În mod particular, secțiunea *Realizări științifice*, prezintă principalele cercetări realizate după finalizarea tezei de doctorat, atunci când a urmat o perioadă de aprofundare multidisciplinară în domeniul ingineriei electronice. Această secțiune, structurată în 2 direcții, tratate unitar, reprezintă o continuare a preocupărilor din timpul studiilor doctorale, focalizându-se pe controlul sistemelor hibride de generare a energiei, pe îmbunătățirea eficienței energetice a acestor sisteme și a surselor de energie regenerabile care le alimentează. Totodată, cercetările științifice s-au axat pe implementarea algoritmilor de control de tip Extremum Seeking Control cu scopul optimizării fluxurilor în sistemele hibride generare de energie.

Prima direcție prezintă contextul global al cercetării, obiectivele, argumentarea și metodologia cercetării, rezultatele obținute și concluziile pentru strategii de control a surselor de energie regenerabilă, Contribuțiile personale privind această direcție de cercetare sunt: *Propunerea unei strategii de control ESC bazat pe filtrul trece banda pentru un semnalul de căutare procesat în bucla de control; Propunerea unei strategii de control bhoESC (basic high-order ESC - bhoESC) îmbunătățită, folosind semnale dither ortogonale, aplicabilă pentru a extrage energia de la panourile fotovoltaice și de la pilele de combustie; Propunerea unei strategii de control care se bazează pe utilizarea filtrului trece-bandă (Band Pass Filter - BPF), în loc de conectarea în serie a filtrelor trece-sus și trece-jos, așa cum se utilizează în schemele ESC de ordin superior; Propunerea a unei noi strategii de control a căutării extremelor pentru funcția multimodală cu două dimensiuni; Validarea acestor strategii de control pe surse hibride autonome de energie.*

A doua direcție de cercetare prezintă stadiul actual al cercetării, obiectivele, argumentarea și metodologia cercetării, rezultatele obținute și concluziile pentru elaborarea de straturi oxidice metalice aplicate pe celule solare comerciale cu scopul îmbunătățirii conversiei energetice a celulelor solare prin tehnici de producție. Obiectivul principal al acestor cercetări îl

reprezintă elaborarea unor straturi suplimentare (oxizi metalici micro și nanostructurați), cu preț de cost scăzut și care să implice resurse minime pentru implementare industrială, cu scopul creșterii conversiei energetice a celulelor solare comerciale. Principalele contribuții obținute sunt reprezentate de: *Caracterizarea tuturor tipurilor de celule solare existente pe piața internațională; Propunerea unei metode pentru creșterea eficienței energetice a celulelor solare aplicabilă oricărui tip de celule solare comerciale din siliciu.* Rezultatele acestor direcții de cercetare au fost validate de granturi de cercetare atât coordonate de mine cât și implementate din postura de membru în echipele proiectelor.

În încheierea primei părți este prezentat succint contractul de cercetare “Sistem de achiziție, monitorizare, analiză și recunoaștere a vibrațiilor pentru protecția infrastructurilor critice, UEFISCDI PN-III-P2-2.1-PTE-2016-0215, NR. 56PTE/2016” coordonat de mine în calitate de responsabil partener de proiect. Principala cercetare efectuată în cadrul acestui proiect a constat în proiectarea, realizarea, testarea și validarea unei soluții de alimentare cu energie electrică a sistemelor de achiziție și monitorizare a infrastructurilor critice pe baza recunoașterii vibrațiilor.

Concluziile cercetărilor originale prezentate în această teză sugerează rezolvarea, într-un viitor apropiat, a unor probleme de interes major privind controlul optimal al surselor de energie alimentate din surse regenerabile, dar și privind eficiența conversiei energetice a surselor regenerabile de putere de tip celule solare.

Gradul de noutate al acestei teze este susținut de rezultatele obținute: eficiență sporită a strategiilor de control, fiabilitate mărită a acestor strategii, reducerea consumurilor de materii prime utilizate la sursele de energie regenerabilă, îmbunătățirea performanțelor celulelor solare comerciale, utilizarea de oxizi nanostructurați pentru elaborarea de straturi suplimentare pentru celule solare.

A II-a parte a tezei tratează activitățile în cadrul departamentului și a laboratorului de cercetare în care activez. Prin argumentele prezentate se certifică următoarele aspecte legate de: *participarea la conducerea, coordonarea și supravegherea activităților de cercetare și dezvoltare; coordonarea, în vederea elaborării tezelor de finalizare a studiilor, a studenților masteranzi, studenți doctoranzi și a echipelor de cercetători; relaționarea dintre activitățile didactice și de cercetare, descrise de legătura dintre obiectivele cercetării și aria curriculară specifică.*

În această secțiune sunt prezentate sintetic principalele activități didactice și de management universitar, evidențiindu-se capacitatea de a organiza și desfășura activități didactice și de management, cât și capacitatea de a coordona echipe de cercetare. Dintre activitățile didactice, se menționează următoarele: titular a mai multor cursuri în cadrul Universității din Pitești / UNSTPB, organizarea de laboratoare și de activități care implică studenți și masteranzi în cercetare, îndrumarea studenților în elaborarea tezelor de doctorat, a proiectelor de licență și master, publicarea de materiale didactice pentru studenți.

Partea a III-a, Plan de dezvoltare a carierei profesional-științifice, cuprinde principalele direcții de acțiune pentru dezvoltarea carierei universitare.

În ultima parte sunt prezentate **Referințele bibliografice** care cuprinde titluri de lucrări din literatura de specialitate, dar și contribuții proprii în calitate de autor / co-autor, care au stat la baza fundamentării cercetărilor efectuate.

Rezultatele obținute în urma cercetării științifice depuse după anul 2011 sunt validate prin diseminarea într-un număr de peste 256 publicații științifice dintre care 62 publicații indexate ISI Clarivate Analytics, 29 publicații științifice în baze de date cu recunoaștere internațională (SCOPUS, Elsevier, IEEE).

Începând cu anul 2003 desfășor activități didactice în calitate de cadru didactic titular sau asociat (preparator, asistent, șef de lucrări, conferențiar) în Departamentul de Electronică, Calculatoare și Inginerie Electrică, Departamentul pentru Pregătirea Personalului Didactic, Departamentul de Fabricație și Management Industrial, Departamentul de Ingineria Mediului și Științe Inginerești Aplicate.

Evoluția și direcțiile de viitor în cariera didactică și de cercetare științifică personale sunt determinate de o serie de factori, inclusiv: *Creșterea globalizării și a concurenței; Progresul tehnologic; Schimbările demografice.*

Pe baza acestor factori, identific o serie de direcții de viitor pentru cariera didactică și de cercetare științifică pe care le voi implementa: *Accentul pe educația internațională; Utilizarea mai eficientă a tehnologiei; Adaptarea la nevoile populațiilor în schimbare.*

Aceste direcții de viitor oferă oportunități importante pentru cariera mea didactică și cea de cercetare științifică. Prin capabilitatea de adaptare la aceste schimbări voi fi mai bine pregătit pentru a avea succes în viitor.

Strategia de dezvoltare a activităților didactice cuprinde următoarele obiective: *Dezvoltarea continuă a procesului de formare profesională a studenților; Îndrumarea studenților la elaborarea de lucrări științifice; Participarea în comisii de îndrumare a doctoranzilor și de evaluare a tezelor de doctorat.*

Strategia de dezvoltare a activităților de cercetare științifică cuprinde următoarele obiective: *Intensificarea activităților de cercetare științifică; Inițierea și implementarea unor proiecte de cercetare dezvoltare-inovare; Coordonarea de proiecte de diplomă/lucrări de dizertație în domeniul ingineriei electronice, a telecomunicațiilor și a nanotehnologiilor; Îndrumarea doctoranzilor și implicarea în activităților proiectelor de cercetare.*

Strategia activităților de dezvoltare instituțională cuprinde obiective precum: *Continuarea activităților de management în cadrul Laboratorului NANOBIOMAT; Dezvoltarea Laboratorului NANOBIOMAT; Participare la întruniri de lucru și organizarea de manifestări științifice.*

ABSTRACT

Through the habilitation thesis I aim to present the professional activity, but also the teaching and research activity carried out after conferring the PhD title in the field of Electronic Engineering and Telecommunications with the theme "Modeling and optimization of power flows in inverter systems powered by fuel cells". The professional skills underlying this thesis are the result of *professional training* and experience gained in *scientific research* during academic activity.

The original results presented in the habilitation thesis "Advanced control strategies and methods to improve energy efficiency of hybrid renewable energy sources" are adapted to the field of electronic engineering, telecommunications and nanotechnologies and is organized into three parts, the content of which is presented below.

Part I, the scientific research carried out presents a synthesis of the professional and academic achievements in the period 2011-2023 in the field of renewable energy sources in general, but, in particular, 3 main directions were pursued:

- scientific research focused on the control of renewable energy sources with the aim of achieving high efficiency in the operation of these sources. The control strategies proposed and implemented are original, proposed new approaches to specific research and focused on research on optimizing power flows.
- scientific research in the field of management of hybrid renewable energy sources with applicability both in micro energy networks, but also for electric or hybrid cars. These researches from the first two directions were materialized through publications in indexed journals or at international conferences, but also through the implementation of ideas within several research grants.
- scientific research based on improving the manufacturing performance of renewable electricity sources such as solar cells by depositing additional layers of metal nano-oxides, obtained following the implementation of two grants through the SFERA III / Horizon 2020 program.

The validation of the research and the confirmation of the originality of these scientific researches are supported by the papers published in specialized journals, the recognition of the importance of the results obtained for the researched field being found in over 209 citations (of which 195 citations without taking into account self-citations) in prestigious publications.

The theoretical approach to scientific research in renewable energy has focused on understanding the physical and chemical principles underlying these energy sources. Theoretical research has used a variety of methods to address renewable energy problems, such as: Mathematical modeling; Numerical simulation; Laboratory experiments; Field studies. The methodological approach of scientific research in the field of renewable energy has materialized on the development of new methods and techniques to study renewable energy sources and used energy conversion technologies. Within the methodological research of renewable energy, topics such as: Mathematical modeling of renewable energy sources were addressed; Numerical simulation of renewable energy systems; Methods for testing and measuring renewable energy technologies; New techniques for renewable energy generation. The experimental approach to scientific research of renewable energy aimed to test and measure the performance of new renewable energy technologies. Field studies, conducted in real conditions, allowed me to evaluate the performance of renewable energy technologies in complex environments. The programming approach is found in the development of new programs and applications to support experimental research. This included the development of new smart grid technologies and energy management systems.

The results of scientific and professional research are reflected in the publication of articles indexed in ISI databases or other international databases, papers held at conferences, publication of books and chapters in specialized books, participation in national and international research projects.

In particular, the *Scientific Achievements section* presents the main researches carried out after the completion of the doctoral thesis, when a period of multidisciplinary deepening in the field of electronic engineering followed. This section, structured in 2 directions, treated unitarily, represents a continuation of the concerns during doctoral studies, focusing on the control of hybrid energy generation systems, on improving the energy efficiency of these systems and the renewable energy sources that power them. At the same time, scientific research has focused on the implementation of Extremum Seeking Control algorithms in order to optimize flows in hybrid power generation systems.

The first direction presents the global context of research, objectives, argumentation and methodology of research, results obtained and conclusions for strategies for control of renewable energy sources, Personal contributions on this research direction are: *Propose an ESC control strategy based on the band pass filter for a search signal processed in the control loop; Propose an improved basic high-order ESC (bhoESC) control strategy, using orthogonal dither signals, applicable to extract energy from photovoltaic panels and fuel cells; Propose a control strategy that is based on the use of the Band Pass Filter (BPF), instead of serial connection of high-pass and low-pass filters, as used in higher-order ESC schemes; Propose a new extreme search control strategy for the two-dimensional multimodal function; Validation of these control strategies on hybrid autonomous energy sources.*

The second research direction presents the current state of research, objectives, argumentation and methodology of research, results obtained and conclusions for the elaboration of metal oxide layers applied on commercial solar cells in order to improve the energy conversion of solar cells through production techniques. The main objective of this research is to develop additional layers (micro and nanostructured metal oxides), with low cost and involving minimal resources for industrial implementation, in order to increase the energy conversion of commercial solar cells. The main contributions obtained are: *Characterization of all types of solar cells existing on the international market; Propose a method for increasing the energy*

efficiency of solar cells applicable to any type of commercial silicon solar cell. The results of these research directions have been validated by research grants, both coordinated by me and implemented as a member of the project teams.

At the end of the first part, the research contract "Vibration acquisition, monitoring, analysis and recognition system for critical infrastructure protection, UEFISCDI PN-III-P2-2.1-PTE-2016-0215, NR. 56PTE / 2016" coordinated by me as project partner responsible. The main research carried out within this project consisted in designing, realizing, testing and validating a power supply solution for critical infrastructure acquisition and monitoring systems based on vibration recognition.

The conclusions of the original research presented in this thesis suggest solving, in the near future, some problems of major interest regarding the optimal control of energy sources powered from renewable sources, but also regarding the efficiency of energy conversion of renewable power sources such as solar cells.

The degree of novelty of this thesis is supported by the results obtained: increased efficiency of control strategies, increased reliability of these strategies, reduction of raw material consumption used in renewable energy sources, improvement of performance of commercial solar cells, use of nanostructured oxides for the elaboration of additional layers for solar cells.

The second part of the thesis deals with activities in the department and research laboratory in which I operate. The arguments presented certify the following aspects related to: *participation in the management, coordination and supervision of research and development activities; coordination, in order to elaborate graduation theses, of master students, doctoral students and teams of researchers; the relationship between teaching and research activities, described by the link between research objectives and the specific curricular area.*

In this section, the main teaching and university management activities are summarized, highlighting the ability to organize and carry out teaching and management activities, as well as the ability to coordinate research teams. Among the teaching activities, the following are mentioned: holder of several courses at the University of Pitesti / UNSTPB, organization of laboratories and activities involving students and master students in research, guidance of students in the elaboration of doctoral theses, bachelor's and master's projects, publication of teaching materials for students.

Part III, Professional and Scientific Career Development Plan, *includes the main directions of action for university career development.*

In the last part are presented the ***Bibliographic references*** that include titles of works from the specialized literature, but also own contributions as author / co-author, which were the basis for the substantiation of the research carried out.

The results obtained from the scientific research submitted after 2011 are validated by dissemination in a number of over 256 scientific publications, of which 62 publications indexed ISI Clarivate Analytics, 29 scientific publications in databases with international recognition (SCOPUS, Elsevier, IEEE).

Since 2003 I have been teaching as a tenured or associate professor (preparator, assistant, lecturer, associate professor) in the Department of Electronics, Computers and Electrical Engineering, Department for Teacher Training, Department of Manufacturing and Industrial Management, Department of Environmental Engineering and Applied Engineering Sciences.

The evolution and future directions in the teaching and personal scientific research career are determined by a number of factors, including: *Increasing globalization and competition; Technological progress; Demographic change.*

Based on these factors, I identify a number of future directions for the teaching and scientific research career that I will implement: *Emphasis on international education; More efficient use of technology; Adapting to the needs of changing populations.*

These future directions offer important opportunities for my teaching and scientific research career. By being able to adapt to these changes, I will be better prepared to be successful in the future.

The strategy for the development of teaching activities includes the following objectives: *Continuous development of the process of professional training of students; Guiding students in the elaboration of scientific papers; Participation in doctoral guidance committees and evaluation of doctoral theses.*

The strategy for the development of scientific research activities includes the following objectives: *Intensification of scientific research activities; Initiation and implementation of research, development-innovation projects; Coordination of diploma projects / dissertation papers in the field of electronic engineering, telecommunications and nanotechnologies; Guidance of doctoral students and involvement in research project activities.*

The strategy of institutional development activities includes objectives such as: *Continuation of management activities within the NANOBIOMAT Laboratory; Development of the NANOBIOMAT laboratory; Participation in the working meeting and organization of scientific events.*