



Universitatea
Transilvania
din Braşov

TEZĂ DE ABILITARE

**Instrumentație Virtuală – Aplicații în laboratoare controlate
la distanță și surse de energie regenerabilă**

Domeniul: Inginerie Electronică, Telecomunicații și Tehnologii
Informaționale

Autor: Conf. Dr. COTFAS PETRU ADRIAN

Universitatea Transilvania din Braşov

BRAȘOV – 2019

Cuprins

A. Summary	6
B. Realizări științifice și profesionale.....	9
Introducere	9
1 Instrumentația Virtuală.....	13
1.1 Concepte	13
1.2 Proiectarea Grafică de Sistem.....	14
1.3 Aplicații dezvoltate pe baza VI și GSD	15
1.3.1 Simulări	15
1.3.2 Reglajul automat al temperaturii.....	17
1.3.3 Măsurători de masă și tensiometrie	19
1.3.4 Monitorizarea băilor galvanice	20
1.3.5 Caracterizarea materialelor metalice	21
1.3.6 Sistem de caracterizare a circuitelor de încărcare a bateriilor	23
1.3.7 Sistem wireless de monitorizare a consumului energetic	24
1.3.8 Drivere de instrument.....	26
1.3.9 Instrumentația virtuală în medicină.....	28
1.4 Concluzii cap. 1.....	30
Bibliografie cap. 1.....	31
2 Instrumentația virtuală în laboratoarele controlate la distanță	33
2.1 Dezvoltări	34
2.1.1 Laboratoare controlate la distanță bazate pe Data Socket Transfer Protocol	34
2.1.2 Laboratoare controlate la distanță bazate pe Ajax.....	36
2.1.3 Laboratoare controlate la distanță bazate pe Web Publishing Tool	38
2.1.4 Laboratoare controlate la distanță și platforma Moodle	40
2.1.5 Laboratoare controlate la distanță bazate pe servicii web și hardware multi-task..	42
2.2 Concluzii cap. 2.....	46
Bibliografie cap. 2.....	47
3 Instrumentația virtuală în studiul energiilor regenerabile	49
3.1 Sistem automat de urmărire a soarelui	50
3.2 Măsurarea radiației solare	51
3.3 Caracterizarea celulelor solare	56

3.3.1	Metode de caracterizare a CS	56
3.3.2	Placa RELab	61
3.4	Caracterizarea celulelor solare in domeniul AC.....	69
3.5	Caracterizarea CS în lumină concentrată	72
3.6	Sisteme hibride	75
3.6.1	Sisteme hibride în lumină naturală	76
3.6.2	Sisteme hibride în lumină concentrată	80
3.7	Concluzii cap. 3.....	87
	Bibliografie cap. 3.....	88
4	Concluzii	93
C.	Planul de dezvoltare a carierei.....	94

Mulțumiri

Pe parcursul anilor de cercetare, după finalizarea tezei de doctorat, am avut șansa de a colabora cu mai multe companii și instituții didactice și de cercetare, colaborări care au condus la realizările mele pe plan didactic și științific. Întotdeauna aceste colaborări se creează de fapt prin conlucrarea cu persoane din cadrul acelor instituții. Astfel, doresc să mulțumesc tuturor colaboratorilor cu care am lucrat fără de care reușitele mele ar fi fost mult mai puține și mai puțin importante. Doresc să le mulțumesc colegilor și studenților din Universitate și în mod special fratelui meu, Daniel T. Cotfas, cu care am lucrat pe parcursul anilor și cu care am gustat din succesele și insuccesele avute. Aș vrea să îi mulțumesc D-lui Prof. Dr. Ing. Mihai Ivanovici pentru sprijinul acordat și mai ales pentru imboldul dat pentru finalizarea acestei teze de abilitare. Orice reușită cere timp îndelungat de lucru, timp care de cele mai multe ori este luat din timpul alocat familiei. Pentru răbdarea, suportul și înțelegerea oferită doresc să mulțumesc soției și fiicei mele fără de care aceste reușite și implicit această teză de abilitare nu s-ar fi materializat.

A. Summary

This habilitation thesis summarizes the research activity of the author, describing the main scientific achievements obtained in the field of using and implementing the virtual instrumentation concept. The evolution of the author's experience during the university activity focused on the results obtained after the PhD graduation is presented. Each chapter starts with the preliminary results obtained in the research field by the author and then continues with the main and strong results implemented as applications in different companies or published in well-rated journals or conferences.

The thesis has three chapters plus a short introduction and conclusions. The three chapters, which represent in fact the research directions of the author, are described below.

The first chapter, *Virtual Instrumentation*, describes the concepts of virtual instrumentation and graphical system design and how the author used these concepts to develop applications at didactical, research and industrial levels. The implemented applications cover fields like system control, electronic systems for measurements and monitoring or developing software drivers for different measurement instruments. The main applications presented in this chapter are those developed for different companies. One of these applications is dedicated to control eight independent heaters used for sticking a stainless steel shield on the leading edge of a helicopter propeller blade, in the context of a research contract with IAR Braşov. Another application developed by the author is dedicated to the wireless monitoring of the energy consumption of IAR Braşov, by monitoring the electrical power, natural gases, waters, pressures in the supply system and the temperatures in different locations. Other two applications described in this chapter were developed as drivers for two electrochemical instruments for two companies, EcoChemie from Netherland and DropSens from Spain.

The second chapter, *Virtual Instrumentation in remote laboratories*, presents the main author's achievements in the field of implementing and using the remote laboratories in the teaching-learning process, in electronics engineering. A server application, called RELBV Server, was developed entirely into LabVIEW based on Data Socket Transfer Protocol and was oriented to the remote laboratory management. The client interfaces were developed using the ActiveX technology, which is a platform dependent technology. The next implementation of the remote laboratories was oriented towards finding and using modern web programming technologies in order to eliminate the platform dependences. Web user interfaces were developed using HTML, CSS, JavaScript, XML and Ajax web programming techniques, which didn't need to install anything on the client machine, introducing the *clientless* concept. A study case about using the remote, simulated and hands-on laboratories focused on photovoltaic cells topic is presented in this chapter. The integration of the remote laboratories in Moodle, which is a Learning Management System platform using the LabVIEW Web Publishing tool and My SQL server, is also discussed in this chapter. In addition, PSPICE

simulated laboratories and remote laboratories, in the field of electronics engineering, using the LabVIEW web services and modern web programming techniques as PHP, Java script and Google Chart API are presented and a new concept of *multi-task hardware* for remote laboratories is introduced.

The third chapter, *Virtual Instrumentation applied in the renewable energy*, presents the main results obtained by the author in the field of renewable energy. The measurement methods for solar radiation and the surfaces' albedo based on photovoltaic cells (PV) are presented in the first part of this chapter. Then, the PV characterization DC methods are discussed, presenting also the new methods proposed by the author. Over several years, the author gained experience in the renewable energy field. One of the most important achievement of the author is the developing of the RELab board, which is an add-on for NI ELVIS II, NI myDAQ and NI myRIO devices. The RELab board has three components: SolarLab – used for PV study, WindLab – used for wind turbine study and ThermalLab – used for solar thermal collector (STC). The study case about the RELab board was awarded with three awards at the world contest *Graphical System Design Achievement Award* organized by National Instruments in Austin, USA in 2013. The Education category, the Editor's Choice Award and the NI Community Choice Award were the three awards received. In addition, the board was awarded with a gold medal at EUROINVENT2015, an international salon of inventions organized at Iasi, Romania. The design of the board and the using of the RELab board generated eight scientific papers, one book chapter and a third party project and still generate other scientific achievements.

The AC characterization methods of the PV are presented in the next section of the chapter, insisting on the RLC method proposed by the author.

The study of the PV in concentrated light is presented afterwards. These studies were performed at the Solar Research Facility Unit, Weizmann Institute of Science, Rehovot, Israel and the Solar Technology Laboratory, Paul Scherrer (PSI), Villigen, Switzerland. One of the main results obtained during these studies is a new method proposed for PV ageing, which is the subject of a patent proposal.

The last section of the chapter is focused on the hybrid system study. This section is split in two parts. The first part is dedicated to the hybrid system study in natural conditions while the second part is dedicated to the hybrid system study in concentrated light. The studied hybrid systems are composed by a PV, a thermoelectric generator – TEG and a STC. We studied the following combinations: PV-TEG and PV-TEG-STC. In order to continue the study of the hybrid system, a light concentrator was designed, built and used in our laboratory.

The results presented in this thesis are consequences of author's participating as director or member in more than eleven international projects, eight national projects and thirteen third party projects. The number of the published scientific articles surpasses one hundred. Forty-

one are ISI indexed, from which nineteen are in journals. The cumulative impact factor (IF) of the ISI papers according to WoS 2018 site is 51.

I would like to emphasize that some of the personal well-ranked papers are published in: *Renewable & Sustainable Energy Reviews* (two papers), *Energy Conversion and Management* (one paper), *Energy* (two papers) and *Energies* (one paper) with IF=9.184, IF=6.377, IF= 4.968 and IF=2.676 according to WoS 2018.

Considering the obtained results presented in this thesis, and based on the accumulated experiences in the research activity, the plan for further developing career of the author is based on the following directions:

1. developing new solutions for remote laboratories implementation through the adaptation and integration of new trends in education and industry;
2. research in the renewable energy field based on the following subjects:
 - a. new methods for characterization and diagnose the renewable sources;
 - b. new ways to improve the efficiency of the renewable energy sources;
 - c. autonomous distributed systems for measuring and monitoring the solar radiation;
 - d. designing and studying the power supply solutions for autonomous devices based on the energy harvesting concept.

B. Realizări științifice și profesionale

Introducere

Autorul tezei de abilitare și-a început activitatea universitară în cadrul Catedrei de Fizică, Facultatea de Inginerie Tehnologică ca preparator, asistent și apoi șef de lucrări. În anul 1999 s-a înscris la doctorat în domeniul Științei și Ingineriei Materialelor obținând titlul de doctor în 2007 pentru lucrarea intitulată "Sisteme informatizate pentru studierea straturilor decarburate utilizând fizica fluctuațiilor și zgomotelor" sub coordonarea D-lui Prof. Dr. Ing. Cornel SAMOILĂ. Cercetările și dezvoltările în cadrul tezei de doctorat au creat premisele dezvoltării ulterioare în domeniul instrumentației virtuale. Prin proiectele în care a fost implicat în timpul și după susținerea tezei de doctorat, aria în care a utilizat instrumentația virtuală s-a extins și la alte domenii precum cel al laboratoarelor controlate la distanță și mai apoi cel al energiilor regenerabile. Odată cu intrarea în cadrul colectivului Departamentului de Electronică și Calculatoare în anul 2011, cele două domenii au devenit prioritare. Astfel, numărul de lucrări în domeniu a crescut și mai ales cel al lucrărilor publicate în revistele recunoscute cu factor de impact ridicat. În anul 2010 autorul a obținut certificarea CLAD (Certified LabVIEW Associate Developer) ceea ce a confirmat abilitățile de utilizare a mediului de programare grafică LabVIEW și posibilitatea oferirii de cursuri avizate de pregătire atât studenților din Universitatea Transilvania cât și inginerilor de la diverse companii printre care amintim Continental Sibiu, IAR Brașov, Ina Scheffler Brașov, Miele Brașov. Unele cursuri au fost realizate sub cupola *Centrului de formare continuă* din cadrul *Universității Transilvania* prin programul postuniversitar denumit *Programarea grafică și achiziții de date* coordonat de autorul tezei de abilitare.

În cadrul acestei lucrări de abilitare sunt prezentate o parte din rezultatele activităților de cercetare ale autorului desfășurate de la începutul activității universitare dar cu precădere cele obținute după finalizarea tezei de doctorat.

În cadrul proiectelor cu companiile, autorul a dezvoltat aplicații software pentru companii din țară și străinătate printre care se pot menționa IAR Brașov, EchoChemie (actual Metrohm) Olanda sau DropSens (actual DropSens Metrohm) Spania, aplicații ce sunt descrise mai în detaliu în primul capitol al tezei.

Pe parcursul carierei universitare autorul tezei de abilitare a colaborat și colaborează cu mai mulți doctoranzi în vederea finalizării tezelor lor de doctorat prin co-îndrumarea lor în dezvoltarea sistemelor de măsură și control și în publicarea de articole științifice pe baza rezultatelor obținute. Astfel, se poate aminti aici colaborarea cu ing. Ramona OROS și ing. Vlad JINGA avându-l coordonator de doctorat pe Dl. Prof. Dr. Ing. Cornel SAMOILĂ, ing. Octavian M. Machidon avându-l coordonator de doctorat pe Dl. Prof. Dr. Ing. Florin SANDU și mai recent cu ing. Oana A. Rușanu aflată sub coordonarea D-nei Prof. Luciana CRISTEA. De asemenea trebuie menționată colaborarea cu doctorandul Sajjad Mahmoudi Nezhad de la Universitatea

din Aalborg, care a desfășurat un stagiul de trei luni în laboratorul nostru și cu care s-au publicat patru articole: trei în reviste ISI și unul într-o revistă BDI.

De asemenea, autorul tezei de abilitare a colaborat cu o serie de studenți formând echipe de cercetare în cadrul diverselor proiecte din cadrul universității și cu care a reușit să publice un număr mare de lucrări. Dintre aceste colaborări se evidențiază cea cu studentul Dragoș IORDACHE care s-a materializat prin publicarea mai multor lucrări științifice în cadrul unor conferințe naționale și internaționale, a unei lucrări în revista *International Journal of Online Engineering (iJOE)* și a unui capitol de carte publicat în editura IGI Global – SUA, cartea fiind inclusă în catalogul WorldCat găsindu-se în peste 80 de biblioteci din lume. De asemenea trebuie menționată colaborarea cu studentul Florin CORCIOVĂ a cărei lucrare “*Embedded system for mini solar vehicle*” a fost distinsă cu premiul “Best poster award” la conferința REV 2012 (<http://revconference.org/REV2012/>).

În ultima perioadă domeniul energiilor regenerabile a devenit foarte important pentru autorul tezei de abilitare și datorită faptului că efortul depus în această direcție i-a adus cele mai mari satisfacții și reușite științifice. Aplicarea instrumentației virtuale în domeniul caracterizării celulelor solare s-a concretizat în realizarea unei plăci comerciale add-on pentru platforma NI ELVIS II denumită RELab. Proiectarea plăcii, aplicațiile software dezvoltate în LabVIEW pentru placă precum și măsurătorile efectuate cu placa respectivă au dus la publicarea unui număr mare de lucrări în conferințe internaționale (unele cotate ISI) dar mai ales în reviste ISI cu factor de impact mare (ex. Measurement cu factorul de impact 2.218). Trebuie menționat că placa a fost distinsă cu trei premii (Fig. 1) la competiția mondială *Graphical System Design Achievement Award* organizată de compania National Instruments în cadrul conferinței NI Week 2013 (<http://sine.ni.com/cs/app/doc/p/id/cs-15465>).

De asemenea trebuie menționat că placa a fost distinsă și cu medalia de aur la salonul de invenție EUROINVENT 2015, Iași, România.

În același timp, articolele din acest domeniu sunt publicate în reviste cu factorul de impact cel mai mare, precum *Renewable & Sustainable Energy Reviews* (două articole), *Energy Conversion and Management* (un articol), *Energy* (două articole) și *Energies* (un articol) cu FI=9.184, FI=6.377, FI= 4.968 și FI=2.676 conform site-ului Web of Science pentru 2018.

Factorul de impact cumulat pentru toate cele 19 articole publicate în reviste ISI este de 51 conform site-ului Web of Science pentru 2018.

Pe parcursul carierei universitare autorul a făcut parte din echipele de cercetare a peste 19 proiecte naționale și internaționale și 13 proiecte cu terți. Pentru două proiecte naționale a fost director și respectiv responsabil de proiect și de asemenea a coordonat două proiecte cu terți, unul național și unul internațional. În anul 2017 a devenit membru supleant în comitetul acțiunii COST CA16235 - Performance and Reliability of Photovoltaic Systems: Evaluations of Large-Scale Monitoring Data.

[Home](#) > [Innovations](#) > [Case Study](#)

Developing a Renewable Energy Laboratory Using NI ELVIS, NI LabVIEW, and NI myDAQ

 Read in English | [Print](#)


4/15

The Challenge:
Developing a system for students to study photovoltaic, wind, and solar thermal energies, along with a small, portable version of the system.

The Solution:
Using NI ELVIS and a modular add-on board with an NI LabVIEW driver to create a system for studying renewable energies with an NI myDAQ device for the portable version.

[Read the Full Case Study](#)

Author(s):
Petru Adrian Cotfas, Lecturer - Transylvania University of Brasov, Romania
Daniel T. Cotfas, Lecturer - Transylvania University of Brasov, Romania



Bookmark and Share

[Share](#) [Facebook](#) [Twitter](#) [LinkedIn](#)

Explore the NI Developer Community



Discover and collaborate on the latest example code and tutorials with a worldwide community of engineers and scientists.

[Check out the NI Community](#)

Who is National Instruments?

National Instruments provides a graphical system design platform for test, control, and embedded design applications that is transforming the way engineers and scientists design, prototype, and deploy systems.

[Learn more about NI](#)

Fig. 1 Studiul de caz și premiile obținute pentru placa RElab

Autorul este recenzor pentru revistele *Energies*, *Journal of Solar Energy Engineering*, *Bulgarian Chemical Communications* și *International Journal of Online Engineering* (iJOE).

De asemenea, autorul a făcut parte din colectivele de organizare ale conferințelor ESSCAP2015, REV2005 și REV2011, EOARD 2008 și Conferința Națională de Instrumentație Virtuală CNIV2009, organizate în cadrul Universității Transilvania din Brașov.

Odată cu acumularea de cunoștințe și experiență în domeniul energiilor regenerabile și cel al laboratoarelor la distanță autorul tezei a fost invitat să țină cursuri la alte universități în cadrul mai multor școli de pregătire. Astfel, în anii 2010, 2011 și 2013 a ținut cursul intitulat “Data acquisition and Noise in Solar Cells” în cadrul școlilor de vară “European Summer School on the Renewable Energy Systems” organizate de TEI Patras, Grecia. De asemenea, în domeniul laboratoarelor controlate la distanță a participat cu studenți din Universitatea Transilvania la școlile de pregătire în cadrul proiectului TARET III (Training in Advanced Remote Technologies) organizate la University of Applied Sciences – Villach, Austria și la University of Maribor, Slovenia în anul 2009. La aceste școli a ținut cursul denumit “Tools for Remote Engineering in LabVIEW”.

În vederea perfecționării și lărgirii ariilor de preocupare științifică, autorul a participat la mai multe stagii de pregătire, precum:

- Program postuniversitar de formare și dezvoltare profesională continuă din cadrul proiectului POSDRU/87/1.3/S/60891 “Școala universitară de formare inițială și

continuă a personalului didactic și a trainerilor din domeniul specializărilor tehnice și ingineresti - DidaTec” în domeniul utilizării tehnologiilor educaționale moderne și utilizarea TIC în procesul didactic, Brașov, România, 2013;

- Școala de pregătire în cadrul proiectului COST 804 “Energy Efficiency in Large Scale Distributed Systems”, University of the Balearic Islands, Palma de Majorca, Balearic Islands, Spain, 2012;
- Școala de pregătire în cadrul proiectului COST MP 1004, SPA, Automotive Campus, Belgia, 2012;
- Școala de vară: “Highlights in Microtechnology” – Elveția 2006;
- Școala de vară: “Magnetism of nanoscopic systems and hybrid structures” Brașov 2003;
- Lyon, Franța la “Institut National des Sciences Appliques-INSA”, 2 săptămâni, 1999, în cadrul proiectului TEMPUS-S-JEP-12536-97 - 1998-2001;
- Lyon, Franța la “Institut National des Sciences Appliques”, 1 săptămână, 2000, în cadrul proiectului TEMPUS-S-JEP-12536-97 - 1998-2001;
- Barcelona, Spania la “Universitat Politècnica de Catalunya –UPC”, 1 săptămână, 2000, în cadrul proiectului TEMPUS-S-JEP-12536-97 - 1998-2001.

Activitățile de cercetare și dezvoltare ale autorului pe parcursul carierei universitare s-au sedimentat și grupat în trei direcții importante și anume utilizarea instrumentației virtuale în dezvoltarea de instrumente de monitorizare, caracterizare și control cu aplicații în proiectele de cercetare și cele cu terți, implementarea laboratoarelor controlate la distanță în procesul educațional și aplicarea instrumentației virtuale în domeniul energiilor regenerabile. De fapt, cele trei direcții rezează stuctura prezentei lucrări de abilitare.

1 Instrumentația Virtuală

1.1 Concepte

Instrumentația virtuală este un concept relativ vechi, apărând și dezvoltându-se la sfârșitul anilor șaptezeci. Instrumentația virtuală poate fi definită ca o combinație de hardware modular și software personalizabil dedicat realizării de instrumente electronice complexe de măsurare, testare și control definite de utilizator. Instrumentele astfel obținute se numesc instrumente virtuale (VI - Virtual Instrument).

Există mai multe definiții pentru VI-uri utilizate în literatura de specialitate. Astfel, Santori definește VI-ul ca “un instrument a cărui funcție principală și capabilitățile lui sunt determinate în software” [1]. În aceeași idee, Goldberg definește VI-ul ca “fiind format din câteva subunități specializate, câteva calculatoare de uz general, ceva software și puțin know-how” [2].

Instrumentația virtuală s-a dezvoltat odată cu dezvoltarea microprocesoarelor care au permis ca funcția unui sistem sau a unei mașini să fie schimbată prin schimbarea software-ului și nu a hardware-ului. Astfel, prin schimbarea aplicației software, un osciloscop poate fi transformat într-un analizor spectral prin adăugarea algoritmului de calcul al transformatei Fourier rapidă.

Abordarea propusă în domeniul VI, la începutul anilor optzeci, de către compania National Instruments (NI) are la bază trei etape:

1. Achiziția de date
2. Prelucrarea datelor
3. Prezentarea datelor

Prima etapă este dependentă atât de componenta hardware: senzori utilizați, placa de achiziție de date – mai ales convertoarele analog-digitale (ADC – analog to digital converter) și digital-analogice (DAC – digital to analog converter), cât și de componenta software: drivere-le ce permit comunicarea între placa de achiziție de date și sistemul de calcul. Celelalte două etape sunt dependente într-o mare măsură de software prin metodele și algoritmii pentru prelucrarea datelor implementați, precum și prin interfața utilizator realizată pentru prezentarea rezultatelor obținute și a controlului instrumentului. Astfel, pentru realizarea unei măsurători electronice simple se pot realiza aplicații simple care să permită testarea, verificarea sau monitorizarea parametrului dorit. Însă, prin dezvoltări ulterioare ale aplicațiilor software se pot obține aplicații complexe (v. Fig. 2).

Un avantaj care a atras utilizatorii în folosirea VI-urilor a fost acela de creștere a performanțelor instrumentelor prin upgrade-ul sistemului de calcul folosit sau a versiunii de software utilizată. Astfel, nu trebuie înlocuit tot instrumentul ci doar o parte din el.

VI-urile pot să fie simple sau complexe în funcție de scopul utilizării lor:

- VI simplu – instrumente bazate pe PC. Constă într-o placă de achiziție de date sau un modul de măsurare conectat la un PC și software-ul atașat ce permite realizarea măsurătorilor necesare precum și efectuarea unor analize.
- VI complex – reunește instrumente de măsurare și control programabile conectate la PC prin diferite interfețe de comunicare și software de programare precum LabVIEW, AgilentVEE Pro,...

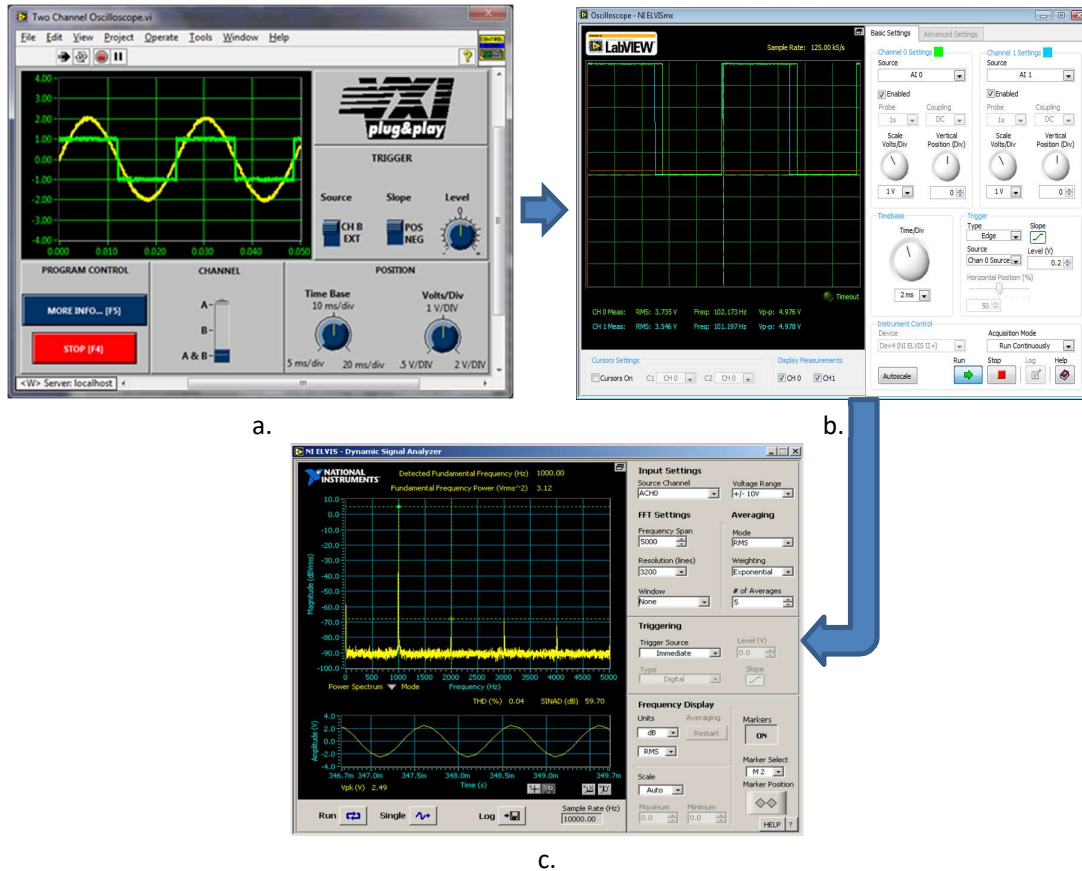


Fig. 2 Trecerea de la un VI simplu la un VI complex fără schimbarea hardware-ului

- a. Oscilloscop simplu
- b. Oscilloscop complex
- c. Analizor spectral

1.2 Proiectarea Grafică de Sistem

La momentul actual, conceptul de instrumentație virtuală a fost înlocuit cu unul nou cunoscut sub denumirea de proiectarea grafică de sistem (GSD – Graphical System Design).

GDS reprezintă “o abordare modernă de proiectare a sistemelor de control și măsurare care combină software de proiectare de sisteme cu hardware *comercial existent pe raft* (COTS - Commercial off-the-shelf) pentru simplificarea puternică a procesului de dezvoltare. Abordarea combină interfețe utilizator, modele de calcul, algoritmi matematici, semnale de intrare/ieșire, abstractizări tehnologice precum și diferite implementări. Unele software ce

pot fi utilizate în faza de proiectare sunt: Ansoft Designer, AutoCAD, CarSim, DOORS, Dymola, LabVIEW, MSC.Adams, MultiSim, NEi Nastran, SolidWorks, SPICE, OpenWire (library),...” [3].

Din punctul de vedere al companiei National Instruments, proiectarea grafică de sistem reprezintă o platformă unificată pentru:

1. **Proiectarea** – presupune conceperea algoritmilor sau modelelor matematice ale sistemului și simularea sistemului sub acțiunea diverșilor stimuli și constrângeri ce pot apărea în realitate, folosind aplicații software corespunzătoare;
2. **Prototiparea** – presupune implementarea proiectului în dispozitive hardware de tip COTS în vederea verificării și validării funcționalității proiectului;
3. **Implementarea de aplicații** – este orientată pe adaptarea și dimensionarea aplicației la dispozitivele hardware finale având în vedere procesul de producție.

Prin utilizarea unei platforme unificate, durata procesului de dezvoltare se scurtează datorită cunoștințelor avute asupra platformei de toți cei implicați în vederea implementării proiectului într-un hardware specific controlat (programat) cu ajutorul unui API consistent.

1.3 Aplicații dezvoltate pe baza VI și GSD

Pentru implementarea celor două concepte VI și GSD din punct de vedere software o soluție o reprezintă platforma de dezvoltare grafică NI LabVIEW (**L**aboratory **V**irtual **I**nstrumentation **E**ngineering **W**orkbench). Statutul de platformă de dezvoltare grafică îi este atribuit pachetului software NI LabVIEW datorită includerii metodelor moderne de programare de tipul: programarea grafică, programarea bazată pe flux de date, programarea orientată pe obiecte, programarea paralelă și distribuită optimizată pe noile procesoare multicore dar și prin add-on-urile disponibile. Așa cum este menționat și în denumire, NI LabVIEW este dedicat domeniului ingineresc, însă poate fi folosit în orice domeniu în care sunt necesare aplicații de control, testare, monitorizare și simulare de sistem.

Bibliotecile de funcții sau proceduri integrate în LabVIEW permit dezvoltarea de aplicații dedicate lucrului cu baze de date, realizării de calcul paralel și distribuit, implementării controlului de instrumente și aparate electronice, simulării și modelării, analizelor financiare, analizei și prelucrării semnalelor. În același timp datorită facilităților de implementare a serviciilor web se pot dezvolta aplicații ce se regăsesc sub umbrela conceptelor *Internet of Things* și *Cloud Computing*.

1.3.1 Simulări

Prima etapă a conceptului de GSD presupune dezvoltarea aparatului matematic pentru sistemul studiat și implementarea acestuia în aplicații de simulare.

Ca nou membru al catedrei de fizică, autorul a realizat un set de aplicații ce au permis simularea unui set de fenomene sau procese fizice. Domeniile acoperite de aplicații au fost mecanică, electromagnetism și optică. Cu ajutorul acestor aplicații studenții au putut înțelege mai ușor noțiunile teoretice. Unele dintre aplicațiile de mai jos sunt utilizate și astăzi ca suport pentru cursul de fizică predat studenților de la programele de studii Electronică aplicată, Tehnologii și sisteme de telecomunicații și Calculatoare, prin realizarea de demonstrații în timpul orelor de curs și laborator.

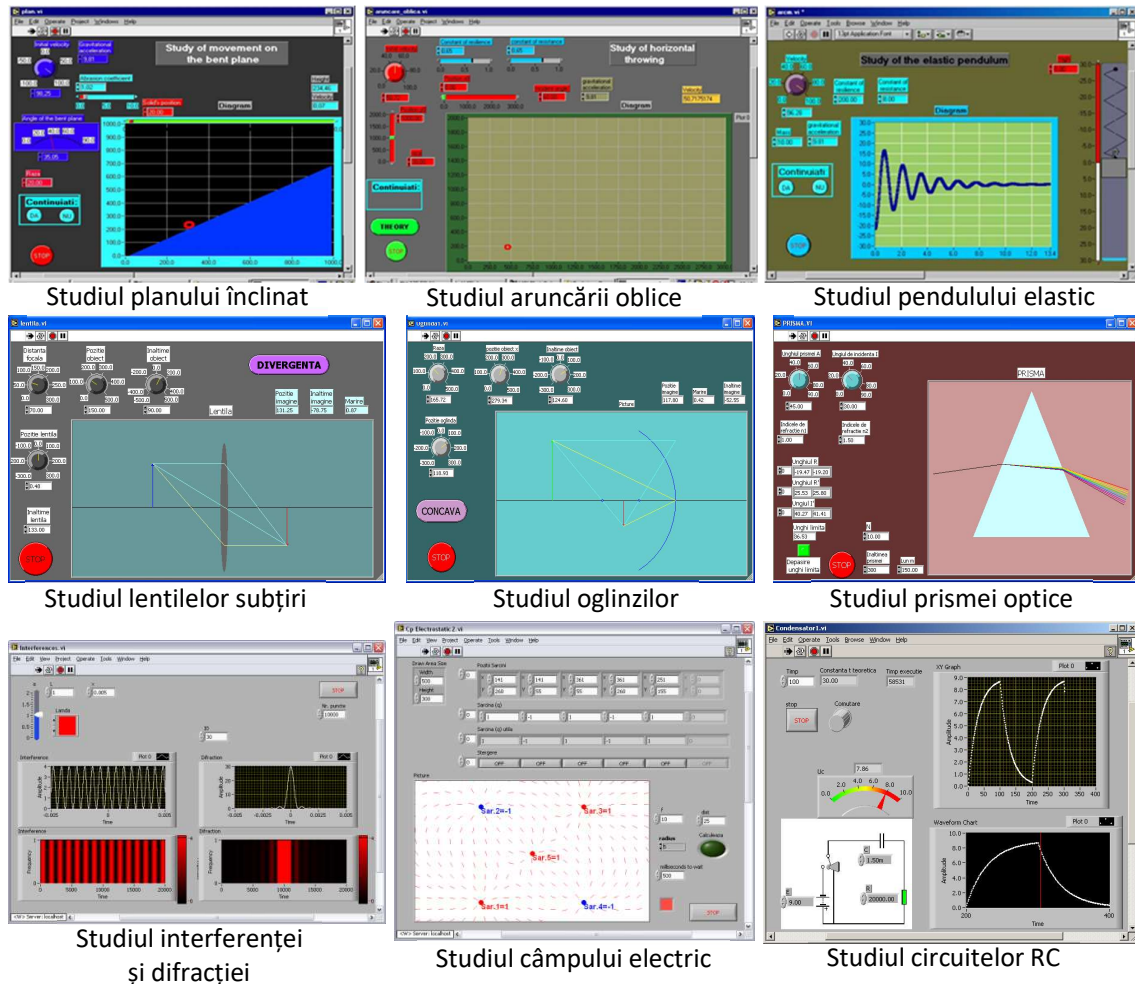


Fig. 3 Simularea fenomenelor și proceselor fizice

Odată cu începerea lucrării de doctorat, autorul a început dezvoltarea de instrumente virtuale dedicate monitorizării, controlului și testării de sisteme electronice de măsurare.

Au fost realizate aplicații de măsurare a curbelor de magnetizare pentru materiale feromagnetice, aplicații expert dedicate controlului sistemului de magnetizare și măsurare a semnalelor de magnetizare și a zgomotului Barkhausen precum și analiza lor spectrală bazată pe analiza Fourier și pe metoda entropiei maxime [4].

1.3.2 Reglajul automat al temperaturii

Experiența câștigată în dezvoltarea instrumentelor virtuale de măsurare și control dedicate tezei de doctorat au permis autorului realizarea de aplicații și sisteme electronice complexe de control și monitorizare industriale.

Pentru realizarea controlului automat al sistemelor se utilizează diverși algoritmi de reglare precum:

- algoritmi Proportional Integral Derivativ – PID [5],
- algoritmi bazați pe logica fuzzy [6][7],
- algoritmi bazați pe rețele neurale [8],
- algoritmi genetici [9],
- ...

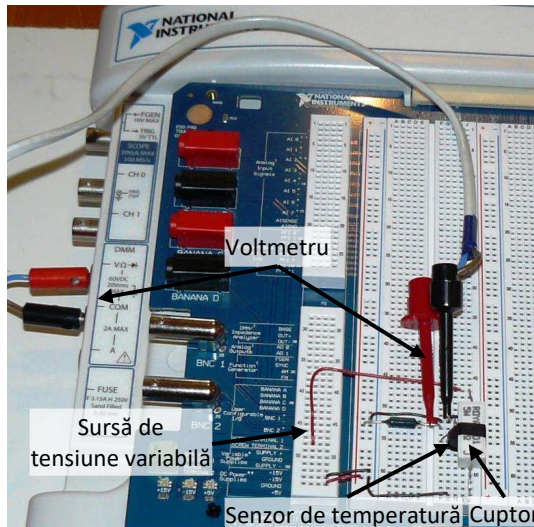
Algoritmul PID este utilizat în cazul sistemelor în buclă închisă, adică sisteme în care există o cale de feedback. Feedback-ul asigură corecția intrării în funcție de ieșirea din sistem.

Implementarea algoritmului PID se bazează pe ecuația:

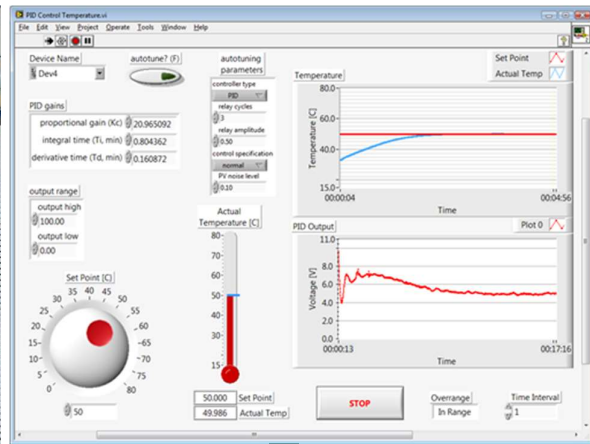
$$out(t) = K_p \left(Er(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t Er(\tau) d\tau + T_d \frac{d}{dt} Er(t) \right) \quad (1)$$

unde $out(t)$ reprezintă ieșirea algoritmului utilizată pentru comanda sistemului controlat, $Er(t)$ reprezintă diferența dintre valoarea dorită SP (set point) la care să fie sistemul și valoarea curentă PV (proces variable) la care se află sistemul iar K_p , T_i și T_d reprezintă coeficienții algoritmului PID. K_p reprezintă factorul de proporționalitate al algoritmului, T_i reprezintă constanta de timp de integrare iar T_d reprezintă constanta de timp de derivare.

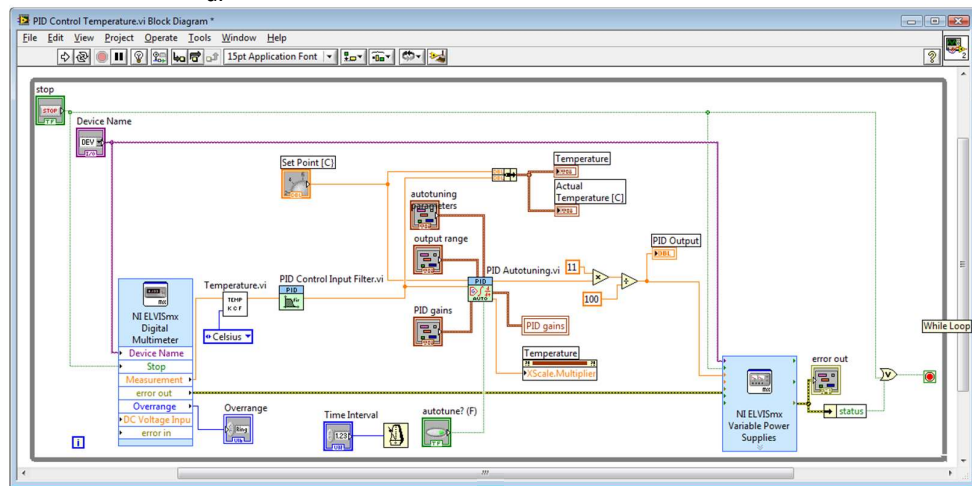
Prototiparea controlului unui cuptor controlat pe baza algoritmului PID este prezentată în Fig. 4. Cuptorul controlat este confecționat dintr-un rezistor de putere cu rezistența de 27Ω alimentat de la sursa de tensiune reglabilă a platformei NI ELVIS II. Temperatura curentă a cuptorului este măsurată cu un senzor de temperatură de tip LM335 polarizat printr-un rezistor de la sursa de 5V a aceleiași platforme. Tensiunea de ieșire de la senzorul de temperatură este citită cu ajutorul multimetrului digital utilizat pe funcția de voltmetru. Conversia tensiune – temperatură este realizată software pe baza relației dată în fișa tehnică a senzorului: $T=100 \cdot (U[V]-0.27315)^\circ C$. Interfața utilizator a aplicației software (Fig. 4 b.) permite reglarea coeficienților PID cu ajutorul controalelor *PID gains* și a temperaturii dorite pentru cuptor cu ajutorul controlului *Set Point*. Temperatura curentă și temperatura dorită sunt afișate cu ajutorul indicatorului *Actual Temperature* și monitorizate pe graficul *Temperature*. Monitorizarea tensiunii aplicată cuptorului, generată de sursa reglabilă a platformei NI ELVIS II, este realizată prin graficul *PID Output* [10].



a.



b.



c.

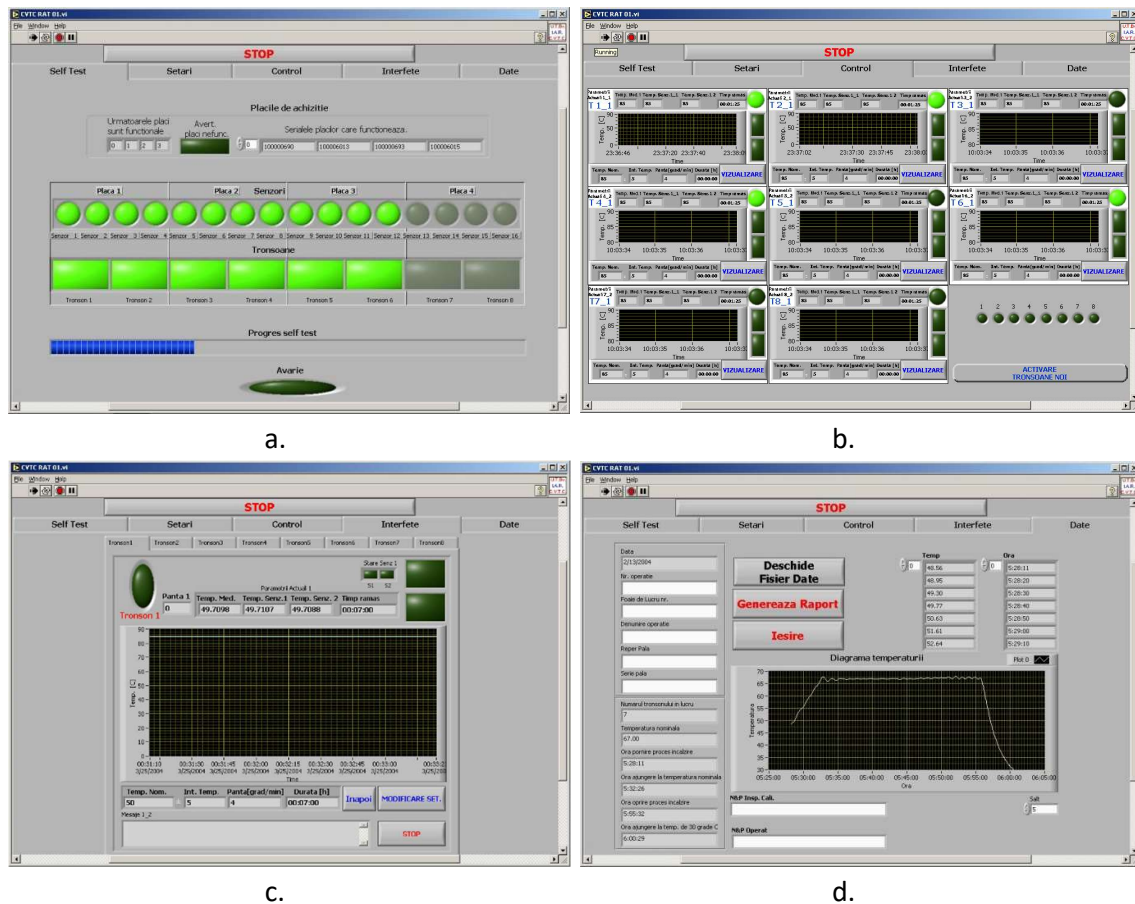
Fig. 4 Prototip cuptor controlat cu un algoritm de reglare automată de tip PID [10]
a. Prototip realizat pe platforma NI ELVIS II
b. Interfața utilizator a aplicației de control
c. Diagrama aplicației de control

În cadrul contractului “Sistem de reglare automată a temperaturii pentru un banc de reparație” realizat cu compania IAR Brașov, autorul a dezvoltat un sistem automat de polimerizare a bordului de atac al palelor de elice pentru elicoptere. Acest sistem include opt tronsoane de încălzire controlate independent. Reglajul a fost realizat pe baza algoritmului PID ce permite creșterea temperaturii la valoarea dorită cu pantă controlată și menținerea acesteia la valoarea dorită un interval de timp predefinit. Întregul sistem a fost dezvoltat utilizând patru plăci de achiziție de date low-cost LabJack U12 [11]. Aplicația software dezvoltată, denumită Reglaj Automat al Temperaturii (RAT.vi), este prezentată în Fig. 5. Această aplicație permite pornirea/oprirea, controlarea și configurarea independentă a celor opt tronsoane.

1.3.3 Măsurători de masă și tensiometrie

Colaborarea cu compania IAR Brașov a continuat printr-un nou contract denumit “Sistem de Cântărire și Monitorizare a Distribuției de Masă”. Acest nou contract a fost dedicat realizării unui sistem bazat pe instrumentația virtuală pentru măsurarea distribuției de masă și măsurători de tensiometrie și presiune. Sistemul a fost dezvoltat utilizând placa de achiziție de date NI DAQPad-6015 și a sistemului de condiționare de semnal SC-2345 dotat cu module pentru măsurători în punte și semi-punte.

Măsurătorile ce se pot face cu aplicația dezvoltată permit determinarea masei unui obiect cu ajutorul a trei senzori de greutate bazați pe mărci tensiometrice și a centrului de greutate în plan pe baza celor trei puncte de măsură [12]. Prin conectarea altor senzori la sistem se pot realiza măsurători de tensiometrie și presiune.



a.

b.

c.

d.

Fig. 5 Aplicația Reglaj Automat al Temperaturii
a. Interfața de inițializare și verificare a cuptoarelor active;
b. Interfața generală de monitorizare;
c. Interfața de monitorizare pe canale;
d. Interfața de generare de rapoarte.

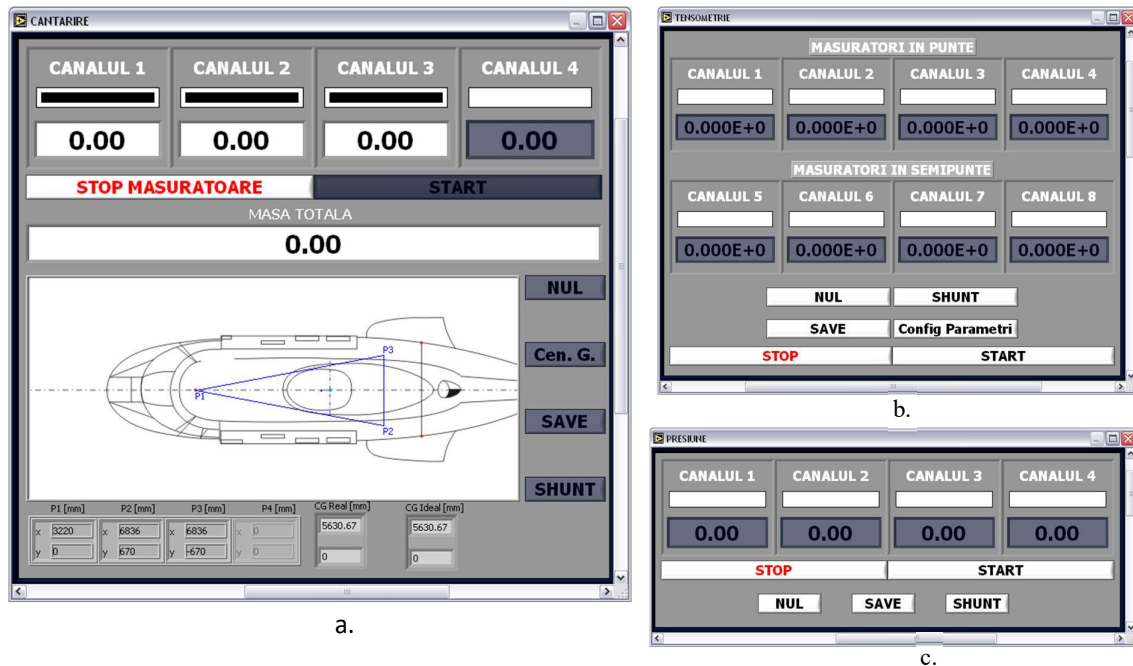


Fig. 6 Măsurători de masă, tensiometrie și presiune
 a. Măsurarea masei în trei puncte și calculul centrului de greutate
 c. Măsurători de tensiometrie pe opt canale
 d. Măsurători de presiune pe patru canale

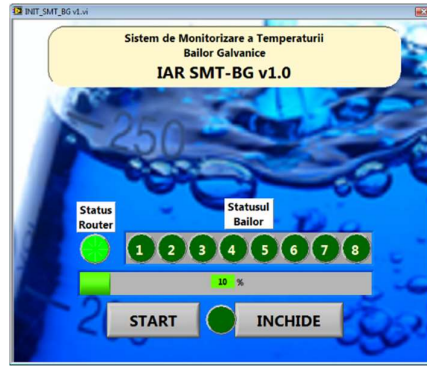
1.3.4 Monitorizarea băilor galvanice

Monitorizarea temperaturii în băile galvanice pe baza sistemelor wireless a făcut subiectul unui nou contract cu IAR Brașov denumit “Sistem de monitorizare wireless a băilor galvanice”. Măsurarea temperaturii se realizează în opt puncte, unul pentru fiecare baie galvanică, distribuite în hala de tratamente chimice.

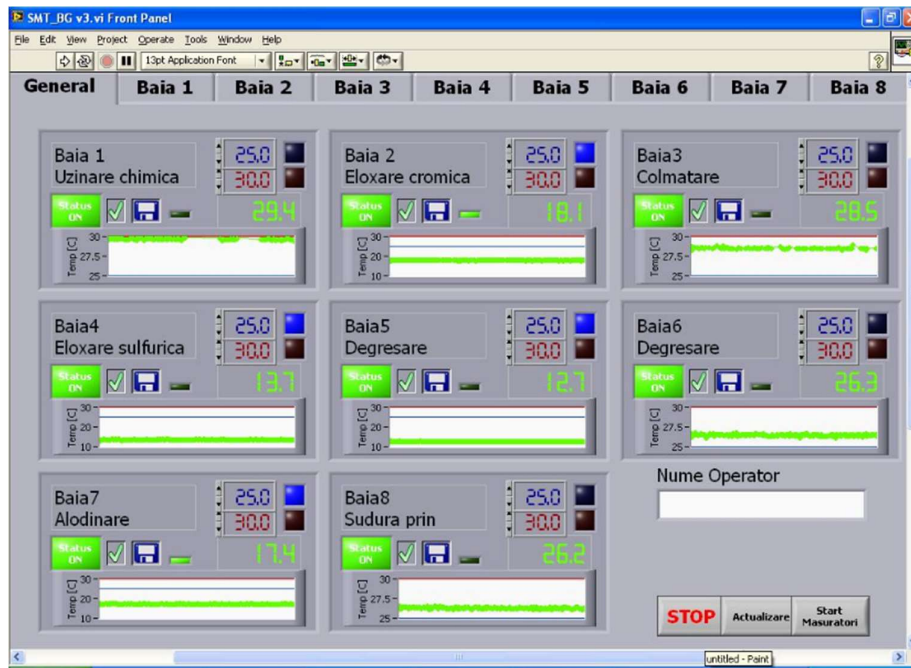
Aplicația este dezvoltată în jurul modulului wireless Tag4M. Acest modul are următoarele caracteristici:

- un canal de intrare analogic, 14-bit, 0-10V
- trei canale de intrare analogice, 14-bit, [-200mV; +500mV]
- un canal de intrare de curent, 4-20mA
- patru porturi DIO
- un senzor de temperatură onboard: termistor 10K +/-1 °C
- comunicarea între PC și taguri se realizează WiFi prin intermediul unui router.

Monitorizarea fiecărei băi se face independent putând fi activată sau dezactivată în orice moment (Fig. 7). În cazul ieșirii temperaturii curente din limitele intervalului predefinit, sunt emise alerte către operator, în același timp fiind stocate în fișiere de înregistrare [13][14].



a.



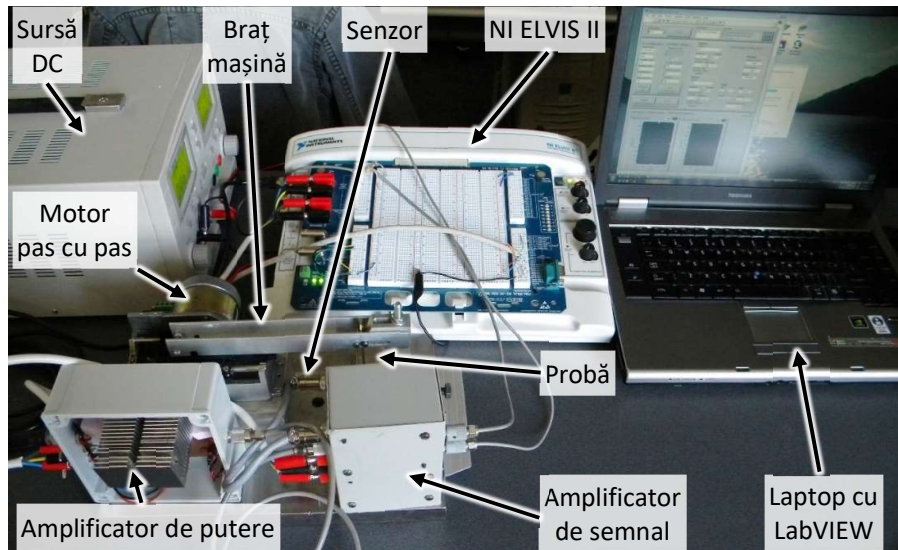
b.

Fig. 7 Monitorizarea wireless a temperaturii pentru băile galvanice
a. inițializarea sistemului; b. interfața de monitorizare

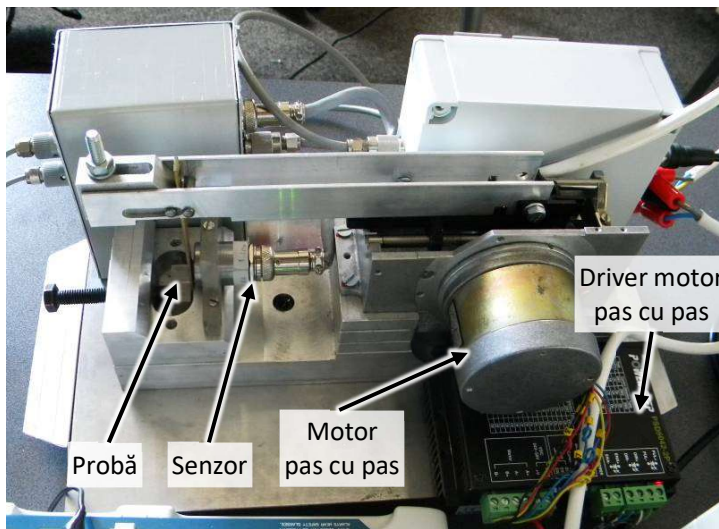
1.3.5 Caracterizarea materialelor metalice

Caracterizarea materialelor prin determinarea proprietăților fizice, chimice și mecanice este importantă în domenii precum știința și ingineria materialelor, electronică și senzori. În cadrul grupului de cercetare din care a făcut parte autorul s-au dezvoltat diferite instrumente de caracterizare a materialelor prin diverse tehnici precum: utilizarea zgomotelor Barkhausen, a curenților turbionari (eddy currents), a ultrasunetelor sau a metodelor optice. În cadrul proiectului PNII 72-161/10.2008 intitulat Cercetări privind realizarea unei noi clase de aliaje (Al-Cu-Mn) și realizarea unui standard de oboseală termomecanică destinat aliajelor cu memoria formei – X-MEM dedicat realizării și caracterizării de noi materiale cu memoria formei s-a realizat un sistem de determinare a microfisurilor apărute prin utilizarea curenților turbionari (Fig. 8). Sistemul este compus dintr-o mașină de oboseală la încovoiere, platforma NI ELVIS II, amplificatoare de putere și de semnal proiectate și construite de autorul tezei de

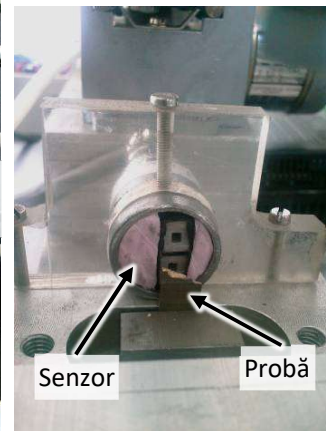
abilitare și aplicația LabVIEW dedicată controlului mașinii de oboseală, măsurării semnalelor de la senzorul de curenți turbionari, analizei și prelucrării datelor.



a.



b.



c.

Fig. 8 Sistem de determinare a microfisurilor la oboseală în materialele cu memoria formei
a. sistem complet; b. mașină de oboseală; c. senzor de curenți turbionari

Schema bloc a sistemului de testare bazat pe curenți turbionari este prezentată în Fig. 9.

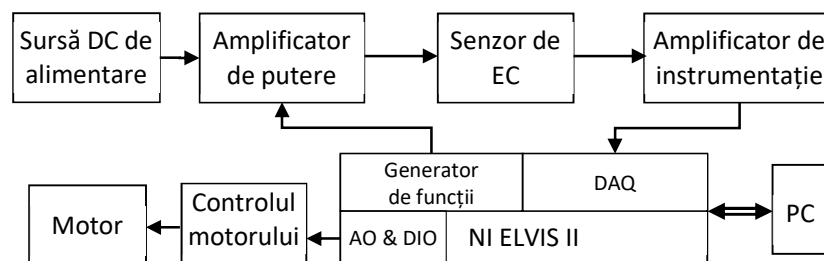


Fig. 9 Schema bloc a sistemului de măsurare a curenților turbionari

Platforma NI ELVIS II a fost utilizată pe post de dispozitiv de control al mașinii de oboseală, de generator de semnal utilizat pentru excitarea senzorului dar și ca sistem de achiziție de date a semnalelor provenite de la senzor. Proiectarea, utilizarea și o parte din rezultatele obținute au fost prezentate în lucrarea [15].

1.3.6 Sistem de caracterizare a circuitelor de încărcare a bateriilor

Dezvoltarea și implementarea sistemelor independente din punct de vedere energetic reprezintă o direcție importantă atât în cercetare cât mai ales în industrie. Astfel de sisteme se regăsesc de la scară mică precum senzorii distribuți și conectați în rețele de senzori, sisteme de iluminare locală sau publică până la sisteme la scară mare de genul caselor “zero-energie” sau a comunităților independente energetic.

În cadrul proiectului intitulat *Sistem inteligent pentru managementul energiei oferite de panourile solare la alimentarea lămpilor cu senzori de infraroșu* realizat pentru compania Steinel Romania desfășurat în perioada 2011-2013 s-a dezvoltat un sistem de caracterizare a diferitelor tipuri de panouri solare (dimensiuni și tehnologii) precum și de caracterizare a circuitelor de încărcare/descărcare (CÎD) a bateriilor de Li-Ion [16]. Sistemul de testare a CÎD a avut ca scop testarea în condiții naturale a încărcătorului proiectat în laborator pe baza circuitului integrat LT3652. Schema de testare este prezentată în Fig. 10.a iar implementarea este prezentată Fig. 10.b.

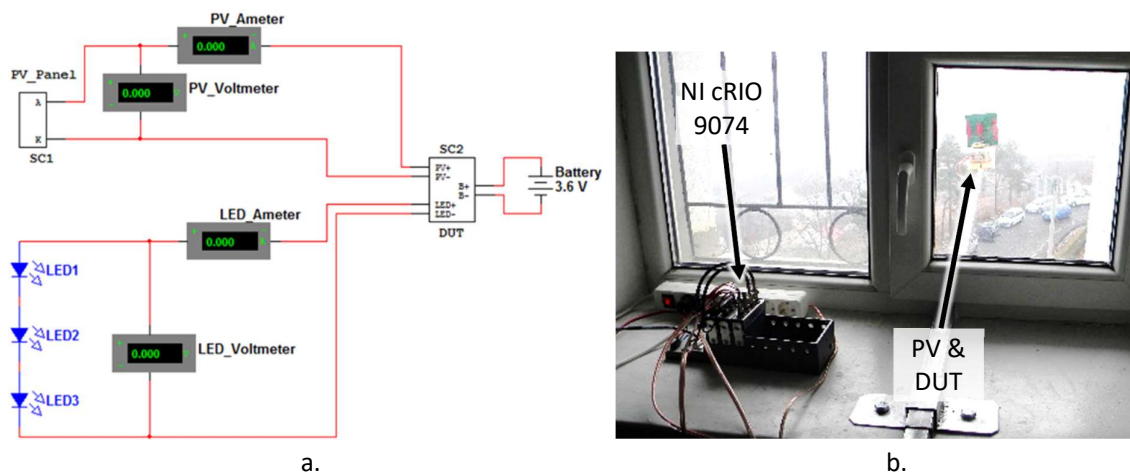


Fig. 10 Sistemul de testare a CÎD
a. Schema electrică de testare; b. Implementarea sistemului

Pentru determinarea eficienței procesului de încărcare/descărcare s-a realizat un powermeter cu trei canale pe baza platformei NI cRIO 9074 și a modulelor de curent - NI 9227 și de tensiune - NI 9215. Cele trei canale permit determinarea puterii electrice generate de panoul solar, puterii electrice injectate/generate de baterie și a puterii electrice consumată de consumator (în cazul de față trei LED-uri). În condiții naturale s-au utilizat doar primul și al treilea canal, toate trei fiind utilizate în laborator, pentru testarea și determinarea duratei de încărcare/descărcare a bateriei la ciclurile impuse de către compania Steinel. Dezvoltările și studiile realizate în cadrul proiectului au condus la proiectarea de către echipa din care a făcut parte și autorul a unei lămpi solare inteligente dedicată iluminării autonome a diverselor zone

de interes precum grădini, alei sau numere de casă. Pe baza măsurătorilor efectuate cu ajutorul sistemului dezvoltat s-a arătat că lampa proiectată poate funcționa în condițiile cele mai defavorabile mai mult de două săptămâni (iarna – nopți lungi, zile legate fără soare și temperaturi negative). Lampa proiectată a fost implementată în cadrul companiei Steinel făcând parte la ora actuală din oferta comercială a producătorului sub denumirea de XSOLAR Lamp ⁽¹⁾ (Fig. 11).

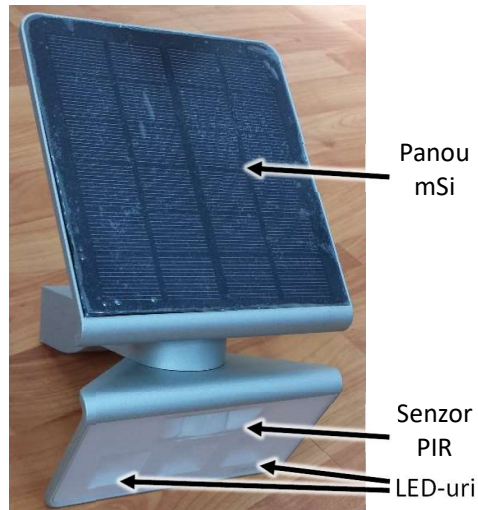


Fig. 11 Lampa solară XSOLAR produsă de compania Steinel

1.3.7 Sistem wireless de monitorizare a consumului energetic

Monitorizarea consumului resurselor într-o companie medie/mare distribuită pe o suprafață mare reprezintă o provocare dar și o necesitate în vederea eficientizării acesteia. Această provocare a făcut subiectul a două contracte realizate cu IAR Brașov denumite “Sistem wireless de management al energiei electrice, gazului metan și aerului comprimat” și respectiv “Sistem wireless de management al energiei și apei”.

Dezvoltarea a presupus monitorizarea următorilor parametri:

- *consumul electric* – interogare contoare electrice (5 puncte – extensibil);
- *consumul de gaz* – interogare contoare de gaz (1 punct – extensibil);
- *consumul de apă* – interogare contoare de apă (cu impuls 1 punct, inteligente – 3 puncte – extensibil);
- *presiune și nivele de apă în sistemele de alimentare* – interogare senzori de presiune – (4 puncte);
- *temperatura în sistemele specifice și a mediului ambiant în clădirile uzinei și în exterior* – interogare senzori de temperatură corespunzători (10 puncte).

¹ https://www.steinell.de/en/domestic-users/lights-floodlights/solar-lights/?force_sid=ajvf46nnvits9qcov6gf3bq83m

Arhitectura utilizată pentru implementarea cerințelor contractului este prezentată în Fig. 12, fiind bazată pe soluția NI WSN structurată astfel:

- Un gateway programabil - NI 9792;
- Opt noduri wireless programabile de tipul NI WSN-3231, 3226 și 3202;
- NI LabVIEW și NI LabVIEW Wireless Sensor Network (WSN) Module Pioneer;
- NI Database connectivity Tools for LabVIEW;
- MySQL.

Pe baza acestei arhitecturi s-a obținut un sistem care este: scalabil, programabil și reconfigurabil.

Aplicația software este structurată pe trei nivele:

1. La nivel de PC – este dedicată interacțiunii cu operatorul precum și stocării de date cu posibilitate de generare de rapoarte (Fig. 13);
2. La nivel de Gateway – are rolul de management al nodurilor wireless (interogare, programare), stocare temporară a datelor și transfer al datelor către PC când acesta este disponibil;
3. La nivel de noduri – permite măsurarea semnalelor de la senzori sau interogarea contoarelor prin protocolul modbus și transferarea datelor către gateway.

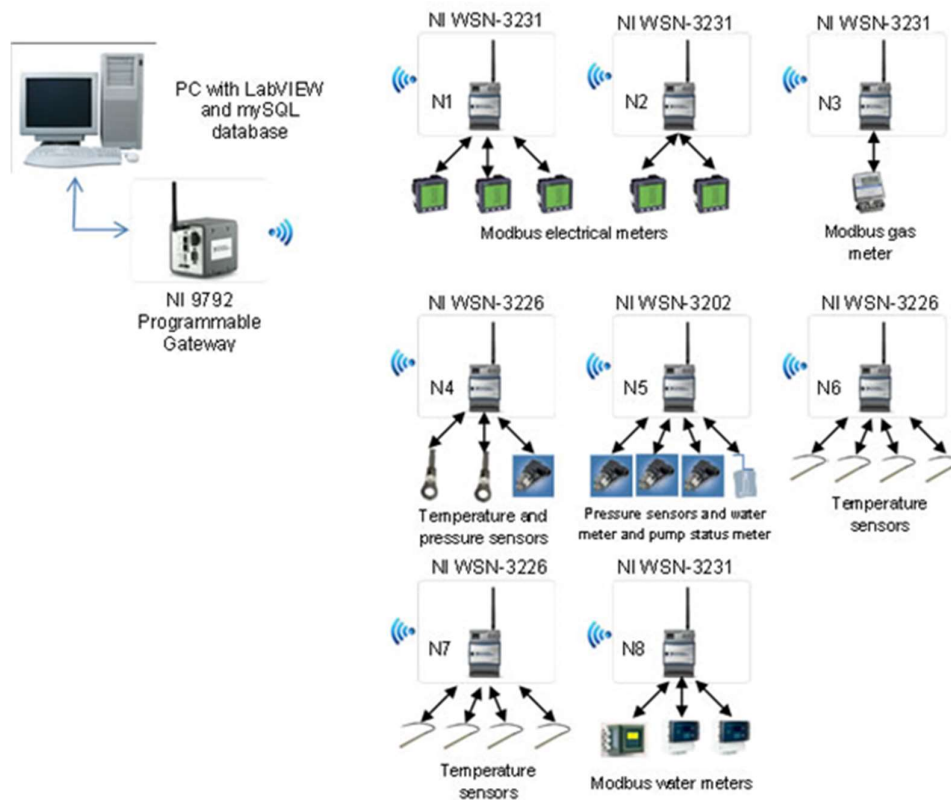


Fig. 12 Arhitectura hardware utilizată pentru monitorizarea consumului de resurse

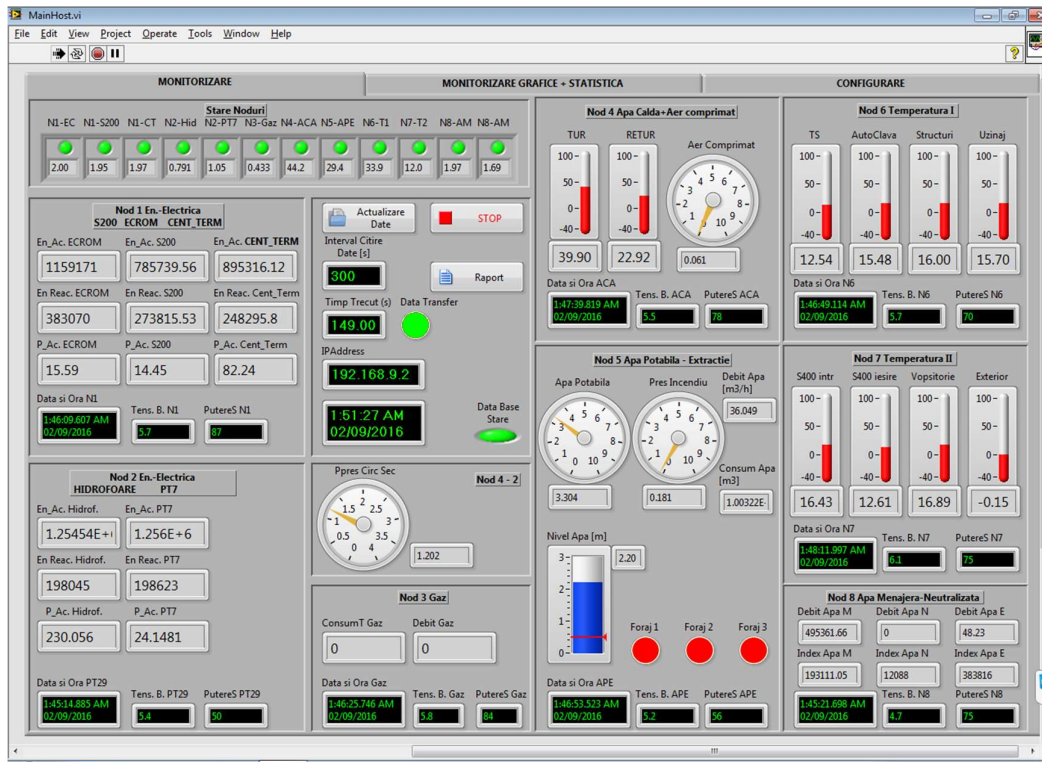


Fig. 13 Panoul aplicației pentru monitorizarea consumului de resurse

1.3.8 Drivere de instrument

Extinderea capacităților de utilizare a instrumentației virtuale s-a materializat prin colaborarea cu parteneri din străinătate. Astfel s-a început o colaborare cu compania EcoChemie (actual Metrohm) din Olanda în vederea dezvoltării de drivere NI LabVIEW pentru echipamentul AUTOLAB PGSTAT produs de ei. Colaborarea s-a materializat prin contractul “STNV 25120469 - Contract cercetare și elaborare drivere LabVIEW EcoChemie – Olanda” în urma căruia a rezultat un pachet software ce este distribuit cu aceste echipamente. Acest pachet denumit Autolab LabVIEW Software are o structură de driver de instrument (propusă de National Instruments) permițând controlul modulelor sistemului AUTOLAB (Fig. 14): modulul de achiziție de date ADC, modulul de generare de semnale analogice DAC, modulele de generare de stări digitale DIO, modulul de electrochimie cu cele două funcționalități – potențostat și galvanostat. Pachetul software a evoluat cu ajutorul inginerilor software ai firmei EcoChemie. Odată cu apariția pachetului Autolab NOVA dezvoltat de EcoChemie am actualizat și pachetul de drivere de NI LabVIEW astfel încât să fie compatibil dar și să includă noile facilități dezvoltate de firmă. Pe lângă VI-urile dedicate controlului modulelor echipamentului, pachetul software conține și un set de exemple ce permit înțelegerea mai ușoară de către utilizator a modului de programare și control al echipamentului.

În Fig. 15 este prezentat un exemplu general de control al echipamentului Autolab bazat pe importarea de proceduri create cu ajutorul pachetului Autolab NOVA.

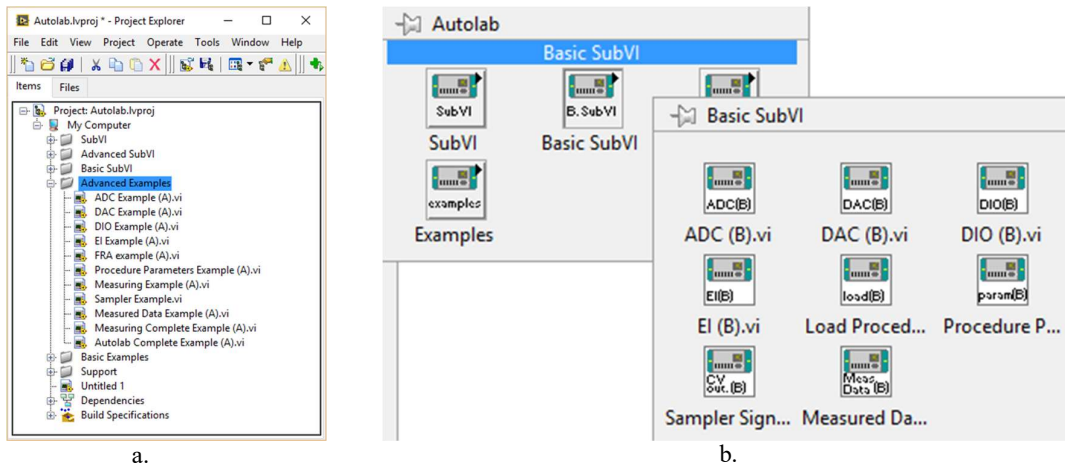


Fig. 14 Driver pentru echipamentul AUTOLAB realizat în NI LabVIEW
 a. Proiectul NI LabVIEW
 b. Paleta Autolab VIs de subVI-uri

Din panoul aplicației se poate controla interfața de electrochimie a echipamentului prin setarea valorii semnalului generat (*Setpoint*), activarea celulei (*Cell On/Off*), setarea modului de lucru (*Mode*) ca potențostat sau galvanostat. Cu ajutorul ledurilor se poate vizualiza starea echipamentului, dacă este activă celula, dacă au apărut situații de depășire a limitelor impuse de curent sau tensiune,... Modulele DAC, ADC și DIO sunt controlate cu ajutorul controalelor și indicatoarelor din câmpurile corespunzătoare.

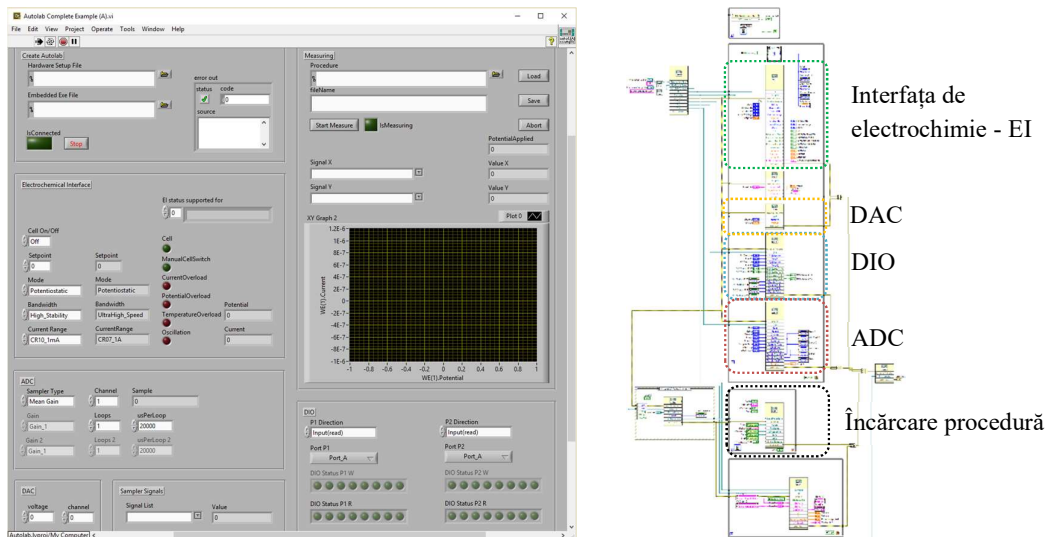
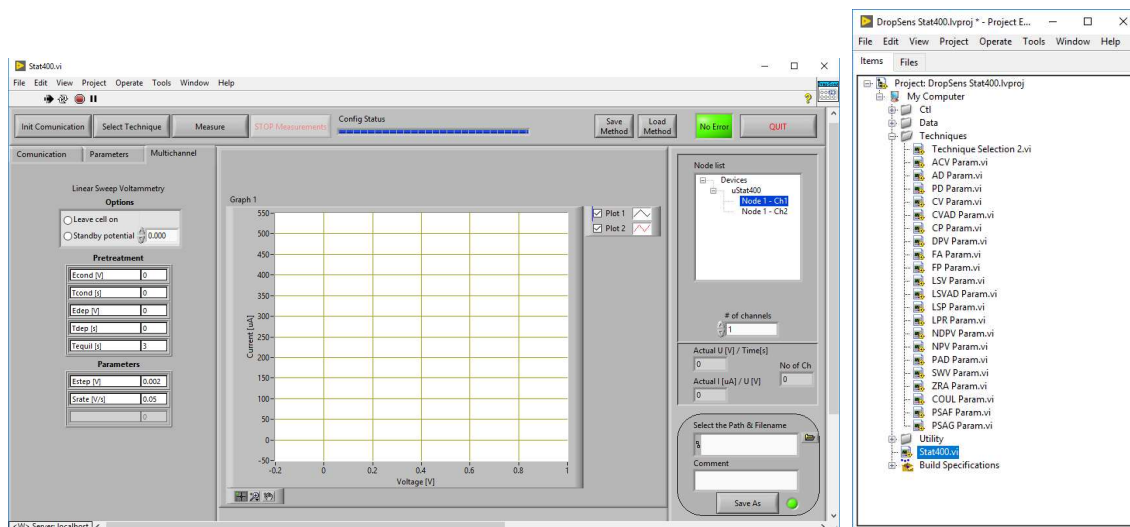


Fig. 15 Panoul și diagrama aplicației de control general al echipamentului Autolab

O altă colaborare s-a realizat cu firma DropSens (actual DropSens Metrohm) pentru care s-au dezvoltat aplicații de tip driver de instrument pentru echipamentele din seriile Stat μ 8000 și μ 400. Aceste echipamente sunt de tip Multi Potentiostat/Galvanostat (seria 8000) și Portable Bipotentiostat/Galvanostat (seria 400).

Aplicația este oferită de către firma Metrohm sub denumirea de “Software Development Kit for LabVIEW” deținând drepturile de autor. (http://www.dropsens.com/en/pdfs_products/new_brochures/sdk.pdf)

Interfața utilizator a aplicației dezvoltate pe baza subVI-urilor create în proiectul respectiv este prezentată în Fig. 16 a iar proiectul în Fig. 16 b.



a.

b.

Fig. 16 Interfața utilizator a aplicației de control a echipamentului μ Stat400

Aplicația permite inițializarea comunicației cu instrumentul electronic de măsurare, selectarea tehnicilor de măsurare (ceea ce implică adaptarea interfeței la tehnica respectivă), citirea datelor măsurate de la canalele de măsurare alese și afișarea corespunzătoare precum și salvarea datelor și a configurațiilor utilizate.

1.3.9 Instrumentația virtuală în medicină

Monitorizarea continuă non-invazivă a parametrilor fiziologici ai pacienților cu diverse afecțiuni este un deziderat al medicinei actuale.

În lucrarea [17] este prezentată o aplicație dedicată femeilor însărcinate atât pentru monitorizarea semnalelor de interes precum ritmul cardiac al mamei și al fătului sau semnale acustice emise de făt, cât și pentru oferirea de consultații online de către medicul specialist și offline prin intermediul unui material informativ introductiv.

Aplicația a fost dezvoltată în LabVIEW, cu modulul PDA Module 8.2, ca un proiect care a permis generarea de aplicații executabile și încărcarea lor pe un PDA Loox 610 cu sistem de operare Windows CE v6. Interfața utilizator a aplicației de monitorizare și consultanță pentru femeile însărcinate este prezentată în Fig. 17. Prin apăsarea butoanelor din interfață utilizatoarea are acces la aplicațiile corespunzătoare. Astfel, în aplicația Read Help se permite accesarea informațiilor introductive despre utilizarea sistemului dar și despre acțiunile ce trebuie făcute

în cazul diverselor simptome. Dacă informațiile obținute nu erau suficiente, utilizatoarea putea intra în dialog online cu medicul. Un exemplu de comunicare între utilizator și medic este prezentat în Fig. 18.



Fig. 17 Interfața PDA a aplicației de monitorizare și consultanță [12]

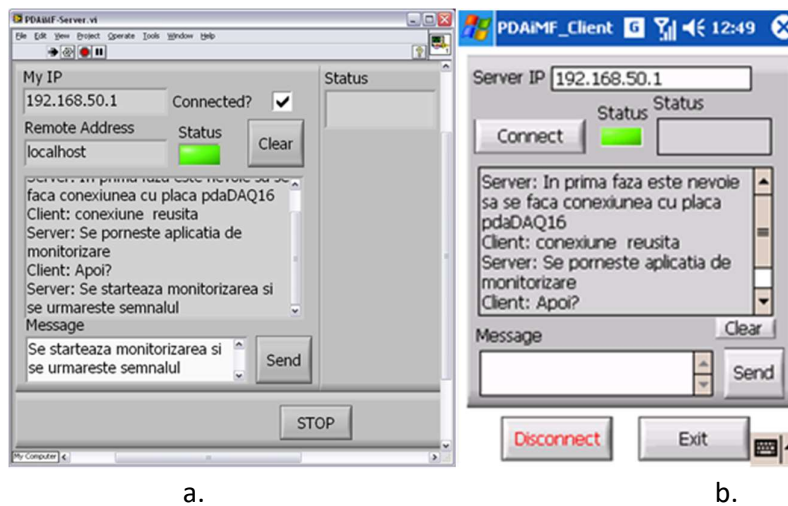


Fig. 18 Comunicarea medic (a)-utilizatoarea(b) [12]

Aplicația Signal Monitoring permitea conectarea PDA-ului la placa pdaDAQ-16 conectată prin bluetooth ce efectua citirea semnalelor de la senzori de ritm cardiac și de tip stetoscop. Datele măsurate erau salvate în memoria fixă a PDA-ului și puteau fi trimise medicului specialist ca fișiere atașate la e-mail cu ajutorul aplicației Send e-mail.

Tot în domeniul medical, prin colaborarea cu studenta Oana Andreea Rușanu de la programul de studiu Inginerie Medicală, s-a realizat un sistem electronic de monitorizare și control dedicat persoanelor cu deficiențe neuromotorii. Această aplicație are la bază casca NeuroSky

Mindwave, placa NI myRIO și NI LabVIEW cu modul de FPGA. Scopul aplicației a fost de a realiza o interfață computer-creier care să permită controlul unui scaun cu roțile utilizat de pacienții cu dizabilități neuromotorii pe baza clipitului din ochi (în aplicație scaunul cu roțile a fost înlocuit cu un robot cu trei roți) (v.Fig. 19) [18][19].

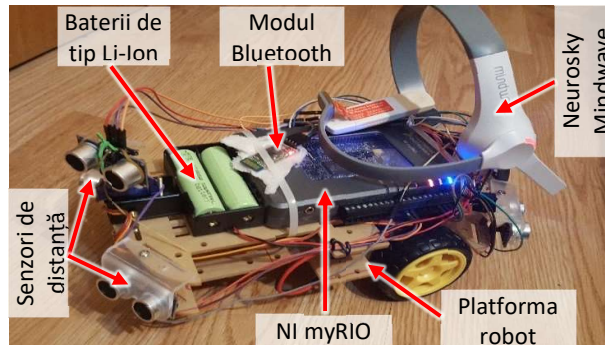


Fig. 19 Robotul mobil bazat pe NI myRIO [18]

Casca NeuroSky Mindwave are rolul de a măsura semnalele electrice provenite din mișcarea pleoapelor. Algoritmul implementat în LabVIEW determină amplitudinea semnalului electric provenit de la clipirea din ochi a utilizatorului și face distincția dintre clipitul involuntar și cel voluntar. Comenzile start, stop, înainte, înapoi, dreapta și stânga sau combinațiile lor sunt detectate pe baza numărului de clipiri voluntare. Placa NI myRIO are rolul de a controla robotul și de a comunica prin modulul bluetooth fie cu un PC/laptop fie direct cu casca.

1.4 Concluzii cap. 1

Experiența acumulată prin dezvoltarea de aplicații bazate pe conceptele de VI și GSD a permis autorului realizarea de aplicații complexe cu aplicabilitate atât în cercetare cât și în industrie prin diverse contracte de cercetare-dezvoltare. În acest capitol au fost prezentate de la aplicații simple de simulare la nivel didactic până la aplicații complexe implementate la nivel de cercetare și industrial. Unele aplicații au contribuit la realizarea de produse comerciale (lampa XSOLAR – Steinell) sau se utilizează în industrie, precum aplicațiile realizate pentru IAR Brașov, de cântărire și măsurători tensiometrice, controlul temperaturii cuptoarelor de polimerizare, monitorizarea băilor galvanice sau monitorizarea energetică a companiei. O altă parte de aplicații prezentate sunt aplicații software ce însoțesc echipamente comercializate de companii străine (Metrohm sau DropSens). Ultimele aplicații prezentate fiind dedicate domeniului aplicării dispozitivelor electronice în medicină.

Așa cum reiese de mai sus, domeniile de aplicabilitate ale celor două concepte sunt variate, ceea ce oferă posibilități de colaborare ulterioare. Un astfel de exemplu este începutul colaborării cu Miele Tehnica Brașov pentru îmbunătățirea unor sisteme de monitorizare în lanțul de producție pe baza instrumentației virtuale. Astfel de colaborări pot reprezenta direcții de dezvoltare ulterioară pentru autor dar și pentru viitorii doctoranzi.

Bibliografie cap. 1

- [1]. M. Santori, "An instrument that isn't really", IEEE Spectrum 27(8), pag.36 – 39, 1990;
- [2]. H. Goldberg, "What Is Virtual Instrumentation?", IEEE Instrumentation and Measurement Magazine 3(4), pag. 10-13, 2000;
- [3]. http://en.wikipedia.org/wiki/Graphical_system_design;
- [4]. Petru A. Cotfas, Cornel Samoila, Doru Ursutiu, D. T. Cotfas, "Decarburiation Study for Bearing Steel Using Barkhausen Noise", Metalurgia International, vol. XIV, no.9, pp. 50-54, 2009;
- [5]. A. Wolfgang, "Practical Process Control for Engineers and Technicians", Elsevier Linacre House, Jordan Hill, Oxford, UK, 2005;
- [6]. L.A. Zadeh, "Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes", IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. 3, No. 1, 1973;
- [7]. E. H. Mamdani, S. Assilian, "An Experiment in Linguistic Synthesis with a Fuzzy Logic Controller", International Journal of Man-Machine Studies, Vol. 7 (1), pp 1-13, 1975;
- [8]. P.J. Werbos, "An overview of neural networks for control", IEEE Control Systems Magazine, Vol 11(1) pp. 40 – 41, 1991;
- [9]. P.J.Fleming, C.M.Fonseca, "Genetic Algorithms in Control Systems Engineering", IFAC Proceedings Volumes Vol. 26(2), Part 2, pp. 605-612, 1993;
- [10]. P. Cotfas, D. T. Cotfas, D. Ursuțiu, C. Samoilă, "NI ELVIS Computer-Based Instrumentation ", NTS PRESS (National Technology and Science Press), USA Allendale, NJ 07401,2012 (ISBN 978-1-934891-11-7), nr.pag.192;
- [11]. Ursutiu D., Cotfas P., Samoila C., "Sistem multicanal pentru controlul si reglajul temperaturii unui cuptor de polimerizare", Revista de Electronica Aplicata nr. 35, anul VI, Sept 2004-Oct 2004, pp 22-23;
- [12]. P.Cotfas, D.Ursutiu, C.Samoila, "Virtual Instrumentation in Strain Measurements", REV- 2007, Porto-Portugalia, 24-27 of June 2007, 4pp;
- [13]. P. A. Cotfas, D. T. Cotfas, R. Oros, D. Ursutiu, C. Samoila, "Temperature monitoring and control with cloud instrumentation", ECEC-EUROMEDIA-FUBUTEC'2012 Conference, București - Romania, 2012;
- [14]. R. Oros , P. Cotfas, D. Cotfas, C. Samoila, D. Ursutiu, "Industrial Monitoring And Control Of Temperature Using Tag4m" - REV-2011 –Brașov-România- 29 June-2 July pp 338-345;
- [15]. P.A. Cotfas, D. T. Cotfas and C. Samoila "Virtual Instrumentation in Metallic Material Characterization", REV 2011 Conference, 29 June - 2 July, Brasov, Romania (2011) 83–86;

- [16]. P. A. Cotfas, D. T. Cotfas, D. Ursutiu, C. Samoila, "Tester for photovoltaic charger using NI cRIO", REV2012 - Remote Engineering & Virtual Instrumentation, Bilbao, June 2012;
- [17]. D. Ursutiu, C. Samoila, P. Cotfas, M. Moga "Wireless Technologies in Medical Field", Conference IMCL2007, April 18-20, 2007 Amman, Jordan;
- [18]. Petru A. Cotfas, Daniel T. Cotfas, Oana A. Rusanu, Marius C. Luculescu, "Energy and mechatronics applications based on NI myRIO", International Conference on Energy and Mechanical Engineering [EME2017];
- [19]. O A Ruşanu, L Cristea, M C Luculescu, P A Cotfas, "A brain-computer interface based on the integration of NI myRIO development device and NeuroSky Mindwave headset", IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol 444, Issue 4, International Conference on Advanced Concepts in Mechanical Engineering - ACME 2018, Iasi - Romania.

2 Instrumentația virtuală în laboratoarele controlate la distanță

Deși controlul la distanță al echipamentelor are o istorie îndelungată (anii șazeci - odată cu apariția primelor calculatoare conectate în rețea și a primelor dispozitive spațiale monitorizate și controlate din centrele de control), introducerea controlului la distanță în procesul educațional pentru realizarea de lucrări de laborator este o preocupare mai recentă. Apariția laboratoarelor la distanță (Remote Laboratory – RL) a fost impusă de apariția educației la distanță – Open and Distance Learning (ODL). În primă fază acest sistem educațional era dedicat doar domeniilor teoretice: economie, drept, matematică, literatură,... adică domeniile care nu implică neapărat efectuarea de experimente fizice.

Odată cu evoluția tehnologiilor de comunicații au apărut posibilități de control al echipamentelor și monitorizarea acestora la distanță la scară largă. Astfel, implementarea sistemului ODL în domeniile tehnice a fost posibilă. În aceste condiții, pe tot globul au apărut centre care au dezvoltat laboratoare la distanță în diverse domenii. Actual, astfel de centre puternice se găsesc în Australia, SUA, Germania, Spania, Austria. În ultimul timp s-au realizat alianțe între centre, rezultând rețele de laboratoare la distanță.

O astfel de rețea este i-LAB pornită de MIT-SUA care s-a răspândit și în Europa, Africa, China și Australia.

RL pot fi utilizate atât în procesul de predare prin demonstrații practice în timpul prezentărilor teoretice, cât și în realizarea lucrărilor de laborator prevăzute în programa școlară.

Un alt avantaj dat de utilizarea laboratoarelor la distanță este cel de conectare la lucrările de laborator de oriunde de pe glob, ceea ce permite oferirea de servicii educaționale internaționale (world-wide). Astfel, studenți din țări diferite, ce vorbesc limbi diferite, au acces la aceleași resurse și facilități didactice. În plus, studenților autohtoni li se mărește intervalul de acces la laboratoare (24-7) în comparație cu posibilitățile de accesare a laboratoarelor clasice.

Pe lângă avantajele pentru studenți, există și avantaje din punct de vedere financiar prin micșorarea spațiului utilizat, al personalului instruit ce trebuie să fie la dispoziția studenților și prin creșterea numărului de lucrări disponibile.

O altă posibilitate de implementare a laboratoarelor pentru sistemul ODL este cea de utilizare a laboratoarelor virtuale (Virtual Laboratory – VL). Acestea permit simularea proceselor și fenomenelor studiate în laboratoare. Pentru realizarea acestora sunt necesare doar un calculator și aplicațiile software aferente. VL oferă avantaje financiare nefiind necesare echipamente reale și nici condiții speciale specifice echipamentelor reale (izolare și ecranare electrică, mecanică sau chimică, condiții climatice, temperatură și umiditate,...). Studenții pot

efectua simulări variind diverși parametri care în cazul real nu ar putea fi modificați (de ex. nivelul de dopaj al unui semiconductor utilizat pentru realizarea unei celule solare, sau grosimea stratului n sau p al unei diode,...). Pe de altă parte rezultatele și funcționarea experimentului este dependentă de calitatea modelului utilizat în simulare. În condiții reale, influențe exterioare (fluctuații electromagnetice, vibrații mecanice, contacte...) pot să apară, ceea ce ar putea duce la comportamente diferite ale sistemului și algoritmi implementați pentru controlul sistemului să nu funcționeze deși în cazul modelului să fi funcționat. Astfel, a devenit necesară realizarea de experimente pe echipamente reale.

Prin realizarea de rețele de RL accesul studenților la un volum mai mare de resurse poate fi asigurat și astfel presiunea de actualizare și modernizare a infrastructurii exercitată pe sistemele educaționale locale ar putea fi diminuată. Acest aspect permite mărirea șanselor de acces al studenților la cele mai noi tehnologii din domeniul de interes.

2.1 Dezvoltări

2.1.1 Laboratoare controlate la distanță bazate pe Data Socket Transfer Protocol

În colaborare cu o echipă de cercetători de la Universitatea de Științe Aplicate Carinthia Institute din Villach – Austria a fost demarată dezvoltarea unei aplicații care să permită accesul on-line studenților la lucrări de laborator. Colaborarea s-a dezvoltat în cadrul proiectului Erasmus Mundus "MARE-Joint European Master Study Program Remote Engineering". Pe baza acestei colaborări am dezvoltat o aplicație denumită RELBV (Remote Electronic Laboratory **B**rasov) Data Socket Sever [1][2].

Scopul acestei aplicații cu rol de server, dezvoltată în întregime în LabVIEW, a fost acela de a permite conectarea on-line a mai multor clienți la diferite experimente distribuite pe stații de lucru aflate în locații diferite. Această abordare presupune conectarea unui client la una sau mai multe lucrări de laborator, în timp ce alt client poate să se conecteze la alte lucrări. În același timp, serverul permite adăugarea automată a aplicațiilor de laborator noi dezvoltate pe bază de autentificare a aplicațiilor în lista de aplicații oferite clienților.

Dezvoltarea aplicației s-a bazat pe protocolul DSTP – Data Socket Transfer Protocol. Acest protocol presupune existența a trei "actori" și anume, un server și doi clienți. Serverul (DataSocket Server) are rol de intermediere a dialogului între clienți. Un client are rolul de trimitere de date (publisher sau writer) iar celălalt client are rol de citire a datelor (subscriber sau reader).

Aplicația dezvoltată adaugă un al patrulea actor cu rol de management al aplicațiilor și clienților - RELBV Server. Un avantaj al structurii dezvoltate este dat de faptul că aplicațiile de laborator nu trebuie să fie în aceeași rețea putând fi distribuite în Internet.

Din punctul de vedere al managementului aplicațiilor și al clienților, aplicația “Server ProgPrincipal” (Fig. 20) permite vizualizarea clienților conectați în tabelul *Stare Useri Logati* precum și starea aplicațiilor în tabelul *Stare Aplicatii* care poate fi: 0 – dacă este disponibilă; 1 – dacă este ocupată de către un student; 2 – dacă este rezervată de către un student; 3 – dacă nu este activă. Aplicația permite editarea conturilor clienților (adăugare, ștergere, modificare), vizualizarea istoriei de accesare a serverului, editarea parametrilor de acces ai aplicațiilor și editarea rezervărilor făcute de către clienți.

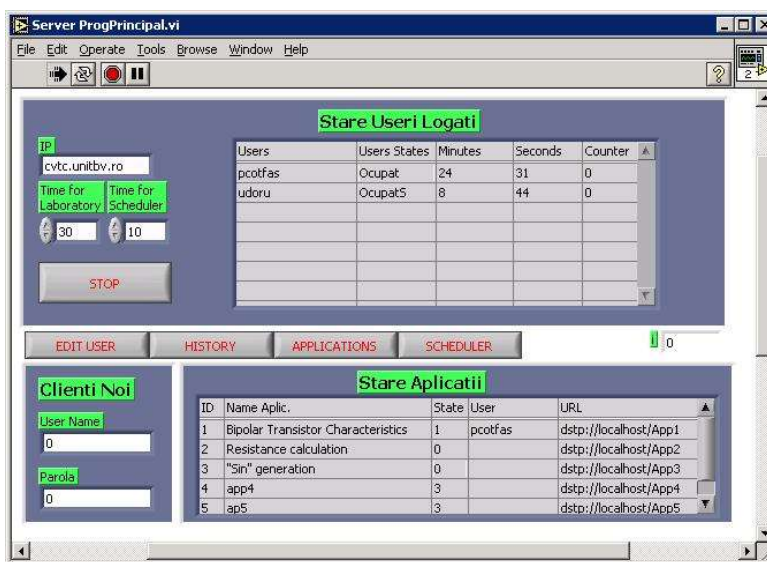


Fig. 20 Interfața de management a serverului RELBV [2]

Interfața de conectare a clienților din browser-ul web a fost dezvoltată sub formă de ActivX utilizând softul Microsoft Visual Basic și publicată web. Accesul se realizează pe bază de cont și parolă. Odată conectarea reușită, se pot accesa aplicațiile de laborator disponibile. Accesul la o lucrare este limitat la un interval de timp predefinit. Interfața de acces oferă informația despre timpul rămas la dispoziție în permanență (Fig. 21 a). Rezervarea accesului la o anumită aplicație, la o anumită dată și oră, se poate face de către clienți prin intermediul interfeței *Scheduler* (Fig. 21 b.). Interfața aplicației de laborator este prezentată în Fig. 22 b. Pe lângă alegerea parametrilor de execuție ai aplicației și vizualizarea datelor măsurate, clienții au la dispoziție un buton de *Help* care permite deschiderea unei pagini de ajutor ce conține atât noțiuni teoretice referitoare la experimentul efectuat cât și informații de utilizare a interfeței. Echipamentele și aparatele cu ajutorul cărora se efectuează experimentul pot fi vizualizate cu ajutorul streaming-ului de imagine de la o cameră web realizat cu ajutorul aplicației Active WebCam (Fig. 22 a.).

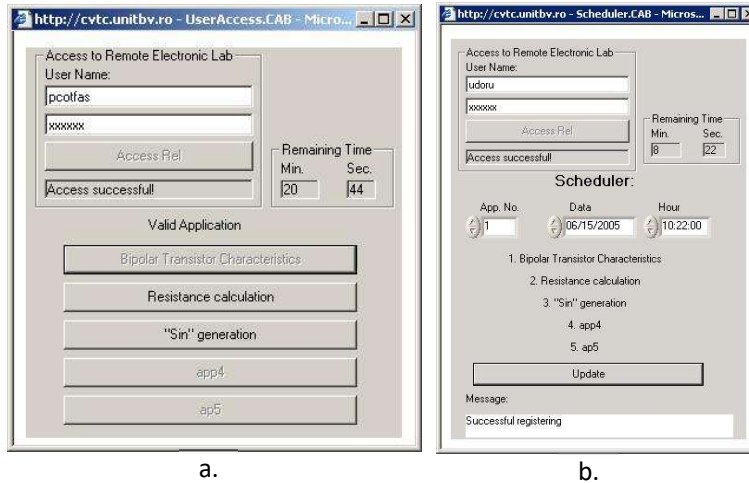


Fig. 21 Interfața de acces online [2]
 a. Interfața de acces a clientului
 b. Interfața de rezervare

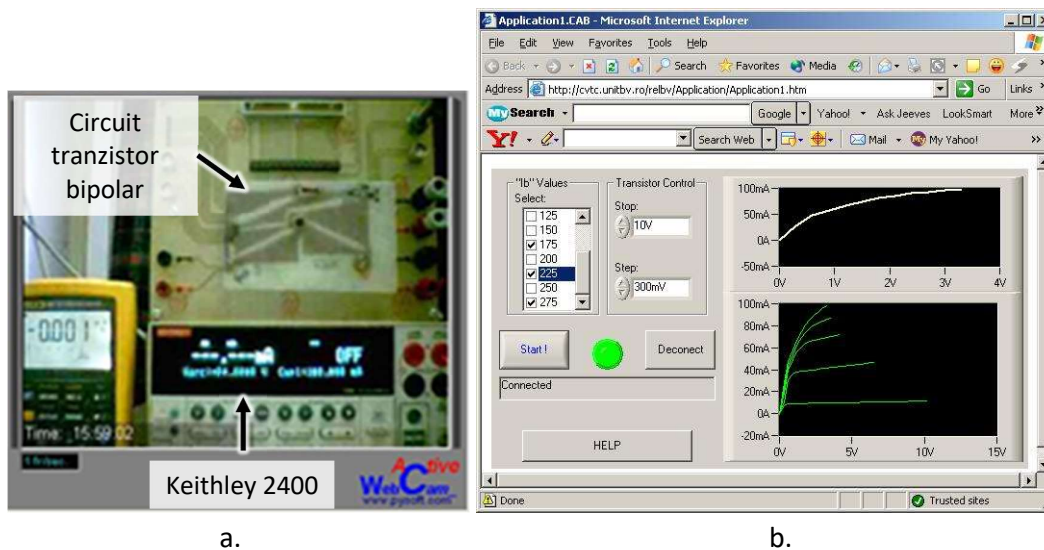


Fig. 22 Studiul caracteristicilor de colector ale tranzistorilor bipolari [2]
 a. Imagine de la camera web
 b. Interfața web de control a aplicației de laborator

Deoarece aplicația permitea înregistrarea de aplicații noi prin înregistrarea în baza de date și automat devenind disponibilă utilizatorilor care puteau să se înregistreze automat, s-a introdus conceptul de *Self Growing Remote Controlled Laboratory* prezentat în lucrarea cu același nume publicată în revista *International Journal of Online Engineering* [2].

Dezavantajul aplicației dezvoltate îl reprezintă utilizarea ActivX-urilor utilizate pentru accesul on-line care sunt dependente de platforma utilizată.

2.1.2 Laboratoare controlate la distanță bazate pe Ajax

Dependența de platformă a aplicațiilor dezvoltate pe bază de ActivX-uri a impus găsirea de noi soluții de publicare web a interfețelor utilizator. O astfel de soluție a fost dezvoltată și

îmbunătățită pe parcursul mai multor ani [3][4][5]. Această dezvoltare s-a bazat pe colaborarea cu studentul Dragoș Iordache de la programul de studiu Inginerie Fizică pentru implementarea interfețelor web pe baza tehnicilor moderne de programare. Astfel, pentru partea de client s-au utilizat tehnologiile de programare web precum HTML, CSS, JavaScript, XML și Ajax (Asynchronous JavaScript and XML). Aceste tehnici de programare au permis realizarea de interfețe utilizator web care să nu necesite instalarea unui add-on sau a unui alt pachet software pe stațiile client, fiind chiar independente de platformă, introducând astfel conceptul de *clientless*. Pe partea de server s-au utilizat serverul web open-source Apache, MySQL, PHP și NI LabVIEW. Dezvoltarea a fost orientată în primă fază pentru controlul platformei NI ELVIS I. Interfața web rezultată (Fig. 23 a.) oferea controlul asupra: generatorului de funcții prin reglarea amplitudinii și frecvenței, sursei duble variabile de tensiune și canalelor digitale de ieșire. Semnalele electrice măsurate cu ajutorul osciloscopului și a multimetrului erau afișate cu ajutorul graficului și respectiv a indicatorului numeric.

Fig. 23 b. prezintă controlul canalelor digitale de ieșire ale platformei NI ELVIS I cu ajutorul unui telefon inteligent. Pe baza tehnologiilor moderne de programare web interfața putea fi ușor adaptată platformelor existente la acel moment de timp.

Dezvoltarea pe baza noilor tehnici de programare a continuat cu realizarea unui portal dedicat studiului celulelor solare cu ajutorul plăcii SolarLab (vezi § 3.3.2) [6]. Având structura de Content Management System (CMS), acest portal permitea accesul studenților atât la informații teoretice oferite prin cursuri, articole și alte informații, cât și la experimente reale realizate prin controlul la distanță a plăcii SolarLab. O noutate pe care a adus-o această dezvoltare a fost introducerea accesului condiționat al studentului la pagina de experiment. Astfel, pentru accesarea experimentului studentul trebuia să citească noțiunile teoretice și să parcurgă un test grilă cu întrebări legate de conținutul teoretic. Dacă obținea un scor al răspunsurilor corecte de minim 80% putea să treacă la efectuarea experimentului propriu-zis, în caz contrar, procesul de studiu și test trebuia reluat.



Fig. 23 Interfața utilizator web de control a platformei NI ELVIS I [3]
a. interfața PC
b. interfața pentru platforme mobile

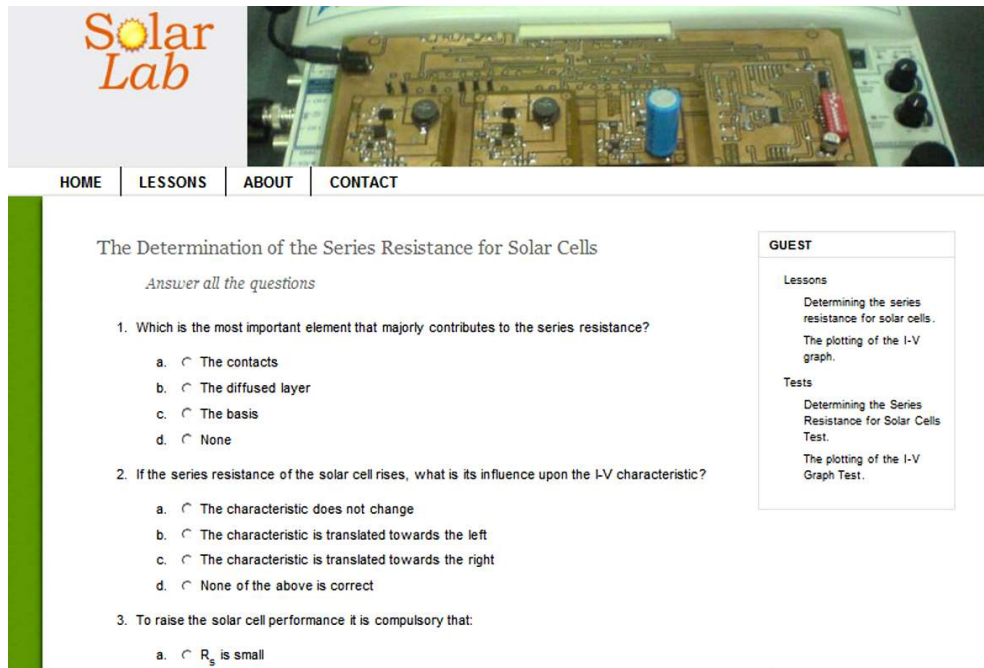


Fig. 24 Portalul SolarLab - test grilă [6]

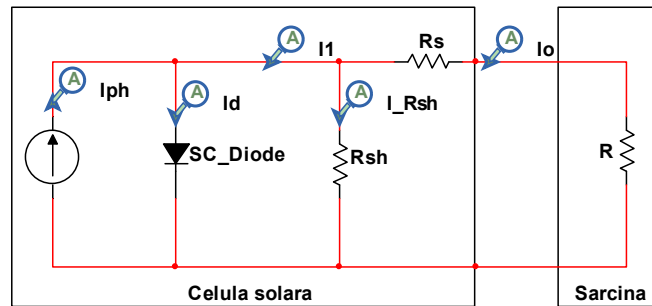
2.1.3 Laboratoare controlate la distanță bazate pe Web Publishing Tool

Implementarea laboratoarelor didactice actuale au la bază trei abordări, și anume: laboratoare față în față (hands-on lab – HL), laboratoare virtuale sau simulate (simulated lab – SL) și laboratoare controlate la distanță (RL). Fiecare abordare prezintă avantaje și dezavantaje. În lucrarea [10] combinarea celor trei abordări de implementare a laboratoarelor a fost luată în considerare și analizată. Lucrările de laborator de electronică aplicată implementate au avut ca subiect studiul celulelor solare.

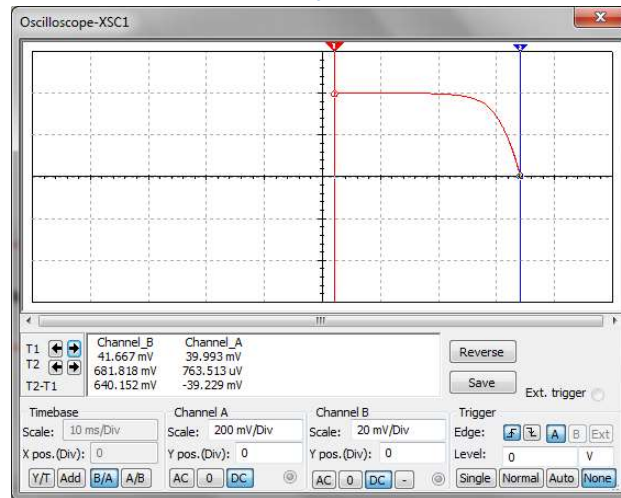
Prima etapă s-a bazat pe SL, fiind dedicată aspectelor teoretice legate de circuitul echivalent al celulelor solare și a modurilor de conectare a celulelor. Simularea s-a bazat pe soft-ul NI Multisim ca simulator PSPICE pentru emularea comportamentului circuitelor electronice. Schema circuitului echivalent al celulei solare realizată în NI Multisim și utilizată în lucrare este prezentată în Fig. 25 a. Utilizând metodele de analiză a pachetului software NI Multisim de genul “Parameter Sweep”, caracteristica curent-tensiune (I-U) a celulei solare modelate poate fi obținută și studiată (Fig. 25 b). În același timp, parametri precum lărgimea benzii interzise a semiconductorului, factorul de idealitate, valorile curenților generați și ale rezistențelor interne pot fi modificați astfel încât diferite tipuri de celule să poată fi modelate.

Măsurătorile reale au fost realizate în cea de-a doua etapă utilizând platforma NI ELVIS II. Această etapă s-a desfășurat în doi pași. În primul pas s-a utilizat un circuit simplu format dintr-o celulă solară, un potențiomtru, multimetrul platformei folosit ca ampermetru și un canal al osciloscopului pe post de voltmetru. Al doilea pas a presupus studierea mai complexă a comportamentului celulei solare în funcție de variația diferiților parametri, precum:

temperatura, nivelul de iluminare, unghiul de incidență al luminii. Aceste studii s-au realizat cu ajutorul plăcii SolarLab care este descrisă în capitolul trei al prezentei lucrări (vezi § 3.3.2.1).



a.



b.

Fig. 25 Simularea celulei solare în NI Multisim
a. circuitul echivalent al unei celule solare
b. osciloscopul NI Multisim cu caracteristica I-U

Cea de-a treia etapă a fost dedicată utilizării plăcii SolarLab online. Controlul la distanță al plăcii s-a realizat prin publicarea web a aplicațiilor dezvoltate în NI LabVIEW pe baza tehnicii denumită Web Publishing Tool. S-a utilizat această tehnică fiind ușor de implementat și oferindu-le studenților accesul la aceeași interfață de lucru ca și în cazul HL.

Analiza rezultatelor s-a bazat pe feedback-ul primit de la studenți după parcurgerea lucrărilor de laborator. Feedback-ul a fost obținut prin completarea de către studenți a unui chestionar care a conținut întrebări de genul:

1. Care este tipul de laborator favorit?
2. Care tip de laborator a oferit mai multe informații?
3. Care laborator a fost mai ușor de utilizat și mai rapid de realizat?
4. Care abordare este favorită dintre: instrumentația clasică, intrumentația virtuală realizată cu platforma NI ELVIS II și intrumentația virtuală realizată cu platforma NI ELVIS II și placa SolarLab.
5. ...

Prin analizarea rezultatelor obținute s-au găsit concluzii de genul:

1. Prin simulare, datorită facilităților de schimbare a parametrilor interni ai celulelor solare, studenții au putut să perceapă mai bine funcționarea internă a acestora (celelalte abordări nepermițând facil astfel de studii).
2. Laboratoarele HL le-au permis studenților să se confrunte cu problemele ce reies din faptul că măsurătorile reale sunt afectate de fluctuațiile parametrilor sistemului studiat (zgomot electronic în circuite, variația nivelului de iluminare sau a temperaturii componentelor electronice,...).
3. Laboratoarele HL sunt mult mai apreciate din punct de vedere al sentimentului de pătrundere a fenomenului studiat.
4. Laboratoarele RL le-au permis o flexibilitate sporită în efectuarea lucrărilor de laborator prin măsurători reale din punct de vedere al timpului de acces la lucrare.
5. Datorită accesului flexibil la un număr mare de lucrări de laborator prin RL, unii studenți fie au repetat lucrarea pentru o mai bună înțelegere a lucrării respective fie pentru a realiza combinații de experimente creându-și propria rețetă de studiu a celulelor solare. Această concluzie sugerează ca RL pot conduce la creșterea inițiativei și a creativității unor studenți.
6. Din punct de vedere al instrumentației favorite, cea clasică este pe prima poziție pentru criteriul “sentimentul de pătrundere” dar pentru celelalte criterii fiind preferate variantele instrumentației virtuale (v. Fig. 26).

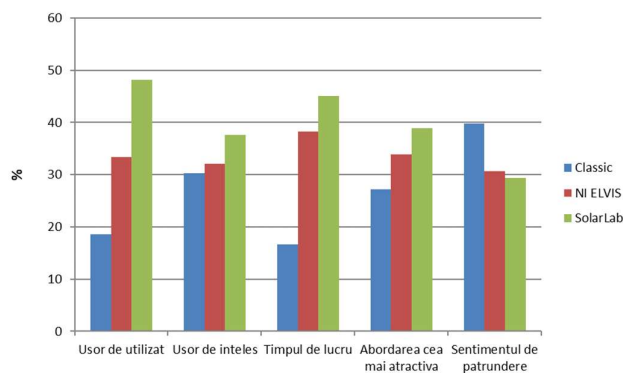


Fig. 26 Rezultatele comparației asupra intrumentăției favorite [10]

2.1.4 Laboratoare controlate la distanță și platforma Moodle

În cazul nespecialiștilor în programarea web utilizarea tehnicilor de programare avansată bazată pe Ajax poate fi un impediment serios în dezvoltarea și implementarea laboratoarelor on-line. Există soluții open-source sau comerciale care simplifică implementarea laboratoarelor la distanță. Astfel de soluții pot să aibă la bază add-on-uri de genul WebPager [7] sau LabSocket [8]. Aceste add-on-uri permit publicarea rapidă pe web a aplicațiilor realizate sub LabVIEW cu sau fără cunoștințe avansate de programare web.

Add-on-ul LabSocket se bazează pe un server HTTP proprietar dar care poate fi descărcat și utilizat gratuit. Serverul poate avea două moduri de implementare: în Cloud sau instalat pe o mașină virtuală pe stația/serverul local. Prima opțiune este indicată pentru evaluare sau pentru utilizatorii începători, în timp ce cea de a doua opțiune este aleasă de utilizatorii avansați sau pentru implementarea soluției în producție. Pe baza VI-urilor puse la dispoziție de software-ul LabSocket aplicațiile dezvoltate în LabVIEW pot fi rapid și ușor publicate pe web.

Bazându-se pe HTML și JavaScript interfața utilizator web nu necesită instalarea de pachete software suplimentare pe stațiile client.

Ambele pachete fiind comerciale au dezavantajul prețului care în cazul sistemului educațional poate fi prohibitiv.

O variantă de implementare a laboratoarelor on-line ar fi utilizarea platformei Moodle, LabVIEW Web Publishing tool și serverul de baze de date MySQL. Această abordare a fost publicată în lucrarea [9].

Platforma Moodle este o platformă de management al cursurilor (Learning Management System – LMS), fiind larg utilizată în întreaga lume. Utilizarea platformei oferă posibilitatea realizării managementului resurselor clienților cu securitatea aferentă, fiind ușor de instalat și utilizat chiar și de nespecialiști. Pentru cei familiarizați cu programarea web noile versiuni ale platformei oferă posibilitatea de utilizare a scripturilor de genul JavaScript ceea ce-i lărgeste posibilitatea de utilizare.

LabVIEW Web Publishing Tool permite publicarea aplicațiilor dezvoltate în LabVIEW pe web fără cunoștințe de programare web. Această tehnologie este însă dependentă de existența Run Time Engine-ului de LabVIEW (LRTE) instalat pe stația client. Chiar dacă LRTE este gratuit, instalarea sa pe stația client poate să reprezinte o problemă. Aceasta se datorează necesității permisiunilor de instalare de la administratorii de rețea. În același timp se exclude posibilitatea utilizării tabletelor sau telefoanelor inteligente.

Serverul de baze de date MySQL este utilizat atât pentru platforma Moodle dar și pentru comunicarea între aplicația web client și aplicația de laborator.

Arhitectura utilizată pentru realizarea laboratoarelor on-line pe baza platformei Moodle este prezentată în Fig. 27.

Această abordare a fost folosită pentru crearea laboratoarelor on-line dedicate cursului de fizică generală pentru programele de studii: Electrotehnică, Automatică, Tehnologia Informației, Construcții civile, industriale și agricole și Instalații pentru construcții, Electronică aplicată, Tehnologii și sisteme de telecomunicații și Calculatoare. Lucrările de laborator dezvoltate sunt:

- Compunerea oscilațiilor perpendiculare – Figurile Lissajous;
- Studiul distribuției Boltzmann;

- Studiul dependenței rezistivității electrice a conductoarelor de temperatură;
- Caracteristica I-U pentru semiconductoare cu două terminale – Celulele Solare.

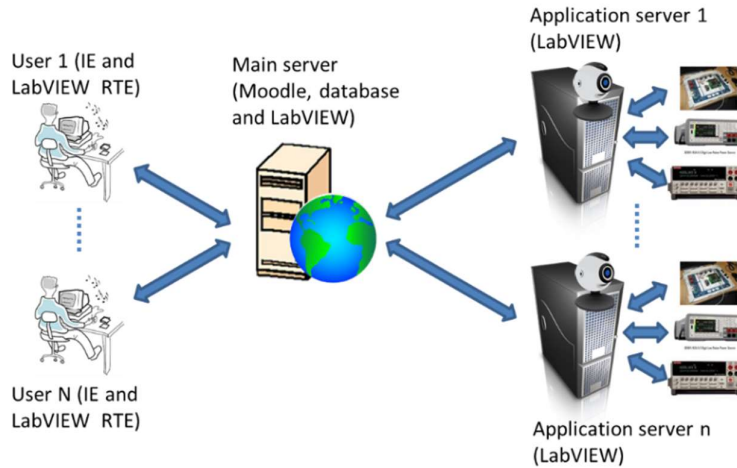


Fig. 27 Arhitectura laboratoarelor on-line implementată pe baza platformei Moodle [9]

În Fig. 28 este prezentată interfața web a aplicației studiului distribuției Boltzman în Moodle. Lângă interfața lucrării se poate vedea și aplicația de streaming de imagini de la camera web dedicată lucrării publicată tot cu LabVIEW Web Publishing Tool.

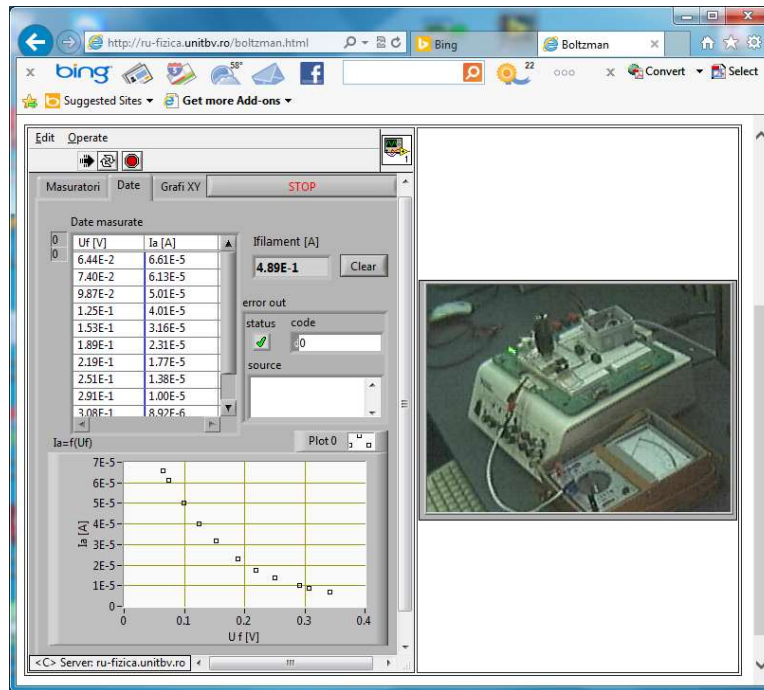


Fig. 28 Pagina Moodle pentru studiul distribuției Boltzman

2.1.5 Laboratoare controlate la distanță bazate pe servicii web și hardware multi-task

O altă abordare în implementarea RL este prezentată în lucrarea [11]. Această abordare este bazată pe utilizarea serviciilor web implementate în LabVIEW și utilizarea tehnicilor moderne

de programare web pentru crearea interfețelor utilizator accesibile web. Lucrările de laborator implementate și discutate în această lucrare au fost din domeniul electronicii și fizicii.

Pentru această lucrare, LabVIEW a fost utilizat pentru controlul echipamentelor, achiziția de date, accesarea modelelor PSPICE și crearea serviciilor web. Pentru realizarea interfețelor web s-au utilizat tehnicile de programare web: HTML, JavaScript, CSS și PHP ce conferă independența de platformă și o flexibilitate ridicată în prezentarea datelor și a rezultatelor.

Tot în această lucrare s-a introdus conceptul de hardware multi-task dedicat RL. Acest concept permite accesul mai multor utilizatori la aceeași lucrare de laborator/experiment în același timp. Implementarea are la bază posibilitatea de paralelism în programarea circuitelor de tip FPGA precum și de implementare a conceptului de "pipeline". Ca hardware s-a utilizat platforma NI myRIO ce conține un procesor în timp real și un circuit FPGA programabil în NI LabVIEW. Dacă mai mulți utilizatori sunt conectați la același experiment decât numărul de fire paralele care s-au implementat atunci se trece la crearea de cozi de așteptare și acces secvențial la experiment. Acest proces este ascuns utilizatorilor. Prin utilizarea circuitelor electronice integrate (IC) dedicate, ce au implementate protocoale digitale de comunicație (I2C sau SPI), se pot conecta mai multe module de același tip la o singură platformă NI myRIO și astfel numărul de studenți care se pot conecta în același timp la același laborator se poate mări. Astfel, prin utilizarea IC-urilor de tip matrici de comutatoare cu protocoale digitale de comunicație, mai multe module pot fi multiplexate astfel încât fiecare modul să aibă acces la canalele de intrare/ieșire ale platformei NI myRIO. Astfel de module pot fi montate sub formă de stivă oferind posibilitatea de conectare mai multor module de același tip sau de tipuri diferite la aceeași platformă NI myRIO (multi-task sau multi-laborator).

Comunicația între aplicațiile de control ale hardware-ului și interfețele utilizator web s-a realizat prin servicii web create în NI LabVIEW utilizând metodele HTTP GET și POST.

Arhitectura finală a RL implementat este prezentată în Fig. 29. Accesul utilizatorului se face prin accesarea server-ului principal pe bază de cont și parolă. La primirea accesului, server-ul principal trimite cereri HTTP serviciilor web de pe server-ul de aplicații. La obținerea răspunsului, serverul principal îl formatează și îl trimite utilizatorului.

Lucrările de laborator implementate în cadrul acestei lucrări au fost (v. Fig. 30):

1. studiul amplificatoarelor operaționale (OP) cu posibilitatea de alegere a configurației – inversoare, neinversoare, repetor cu OP – pentru domeniul electronică;
2. studiul legii lui Joule și a legii inducției magnetice – pentru domeniul fizică;
3. studiul oscilațiilor amortizate și forțate – pentru domeniul fizică;

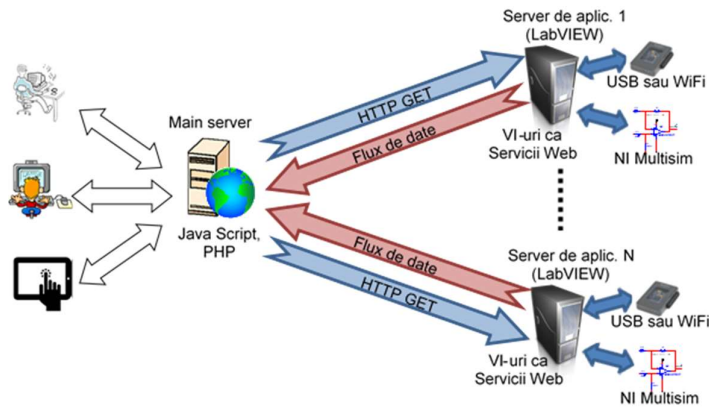


Fig. 29 Arhitectura RL bazată pe servicii web [11]



Fig. 30 Modulele atașate plăcii NI myRIO [11]

Pentru domeniul electronică, lucrările de laborator s-au realizat atât prin simulare, cât și prin măsurători reale. Pentru partea de simulare s-a utilizat mediul NI Multisim pentru realizarea schemei circuitului studiat (v. Fig. 31). Aplicația dezvoltată în LabVIEW (Fig. 32) apelează schema din NI Multisim și prin intermediul variabilelor partajate recepționează parametrii de simulare și transmite rezultatele de la/către serviciile web care comunică cu interfața utilizator web.

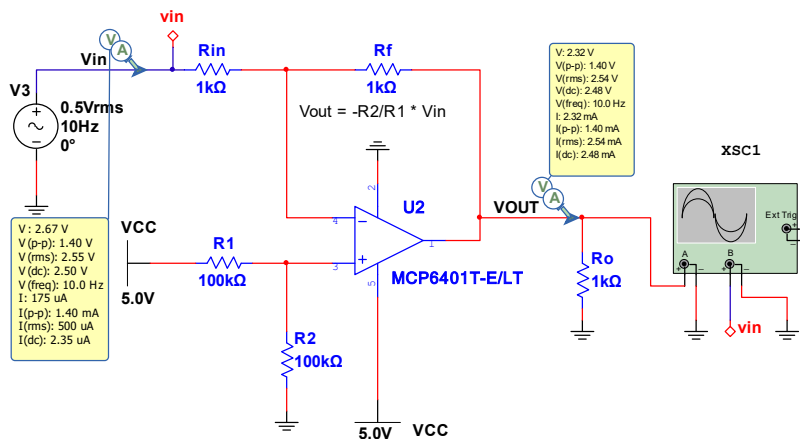


Fig. 31 Schema circuitului studiat realizată în NI Multisim [11]

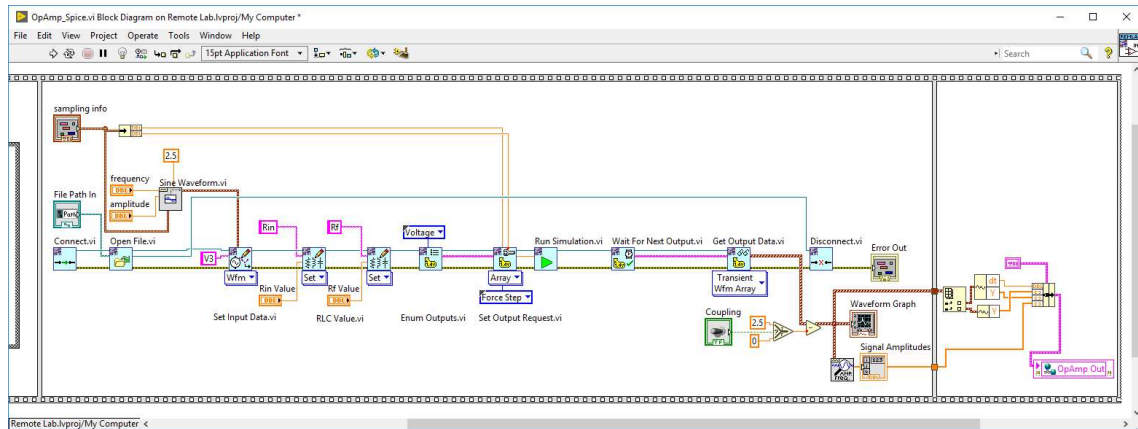


Fig. 32 Codul LabVIEW de apelare a schemei NI Multisim

Site-ul web (Fig. 33) a fost dezvoltat utilizând HTML, PHP pentru partea de comunicare între servere (principal și cele de aplicații) pe baza cererilor codate JSON, iar JavaScript a fost utilizat pentru îmbunătățirea interacțiunii utilizator-interfață. Pentru partea de prezentare a rezultatelor sub formă de grafice s-a utilizat serviciul web Google Chart API, ce permite crearea unor grafice cu aspect plăcut și ușor de utilizat.

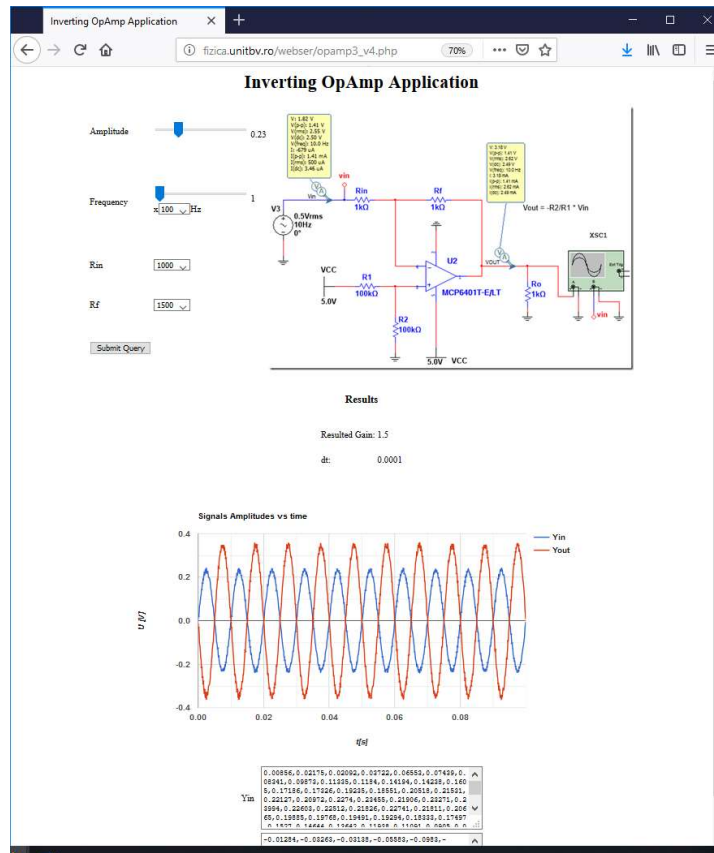


Fig. 33 Interfața utilizator web [11]

Laboratoare controlate la distanță au fost dezvoltate și pentru domeniul sistemelor integrate reconfigurabile de tipul Sistem-on-Chip (SoC). În lucrarea [12] a fost prezentată implementarea unui laborator virtual controlat la distanță bazat pe servicii web dedicat utilizării și programării de către studenți a sistemelor cu FPGA. Dezvoltarea laboratorului s-a bazat pe o rețea de plăci de dezvoltare Avnet ZedBoard 7020 care are la bază un SoC ce integrează un procesor dual-core ARM® Cortex™-A9 MPCore™ și un FPGA Xilinx Zynq™-7000. Laboratorul permite implementarea conceptului de *hardware multi-task* prin partiționarea în patru regiuni parțial reconfigurabile ale FPGA-ului Zynq. Cele patru regiuni pot fi reconfigurate independent una de cealaltă și pot fi asociate câte unui utilizator conectat prin servicii web.

În lucrarea [13] se prezintă modalitatea de a implementa un RL într-un chip. Aceasta presupune crearea unui server web încorporat într-un chip. Pentru această lucrare s-a ales implementarea serverului web pe placa de dezvoltare FPGA Spartan 3E Starter Kit. Încorporarea serverului web într-un FPGA prezintă o serie de avantaje în comparație cu alte soluții (microcontrolere sau microprocesoare), precum: dimensiune redusă prin implementare directă în hardware, reconfigurare, scalabilitate și fiabilitate. Placa utilizată a permis implementarea unui laborator în domeniul calibrării celulelor solare. Arhitectura utilizată pentru calibrarea celulei solare este dată în Fig. 34.

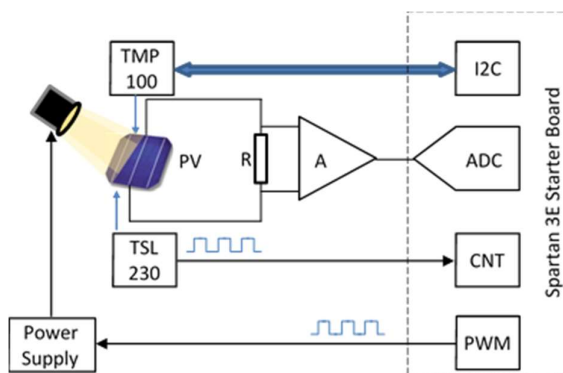


Fig. 34 Schema bloc utilizată pentru calibrarea celulei solare [13]

2.2 Concluzii cap. 2

În acest capitol au fost prezentate realizările importante ale autorului în domeniul laboratoarelor controlate la distanță cu aplicații în fizică, electronică și energii regenerabile. Laboratoarele dezvoltate s-au bazat atât pe soluții simple de genul Data Socket Transfer Protocol sau Web Publishing Tool din LabVIEW cât și soluții bazate pe tehnici moderne de programare web utilizând Ajax, PHP, JavaScript,... și integrarea lor în platforme LMS de genul Moodle. Platforme didactice de genul NI ELVIS sau bazate pe sisteme integrate reconfigurabile (NI myRIO sau Avnet ZedBoard 7020) au fost utilizate pentru implementarea laboratoarelor sau au reprezentat subiectul laboratorului.

Domeniul laboratoarelor controlate la distanță este un domeniu de cercetare larg și dinamic putând fi extins cu ușurință către industrie. Utilizarea și adaptarea la tehnologiile moderne

reprezintă o adevărată provocare. Astfel, utilizarea conceptelor de servicii web, instrumente web, Internet of Things, Cloud computing și a celor noi care vor apărea, reprezintă o direcție importantă de cercetare-dezvoltare de interes pentru autor și va conduce la teme pentru viitoarele teze de doctorat coordonate de către autor.

Bibliografie cap. 2

- [1]. D. Ursuțiu, P. Cotfas, C. Samoilă, D. COTFAS, “Laboratoare Controlate la Distanță”, Conferința Națională de Instrumentație Virtuală, București, 2007;
- [2]. Cotfas P., Ursutiu D., Samoila C., “Self Growing Remote Controlled Laboratory”, International Journal of Online Engineering i-JOE, Vol 2, nr 1, ISSN: 1861-2121, 2006;
- [3]. D. Ursutiu, D. Iordache, P.A. Cotfas, D.T. Cotfas, C. Samoila: “New Technology Used in Remote Laboratories”, International Conference Remote Engineering and Virtual Instrumentation REV2008, Dusseldorf, June, 2008, Kassel Press, ISBN978-3-89958-352-6;
- [4]. D. Ursutiu, D. Iordache, P.A. Cotfas, D.T. Cotfas and C. Samoila “Modern Web Development Techniques in Remote Engineering”, International Conference Remote Engineering and Virtual Instrumentation REV 2009, 22-25 June, Bridgeport, 2009, Kassel Press, ISBN978-3-89958-352-6;
- [5]. D. Ursutiu, D. Iordache, P.A. Cotfas, D.T. Cotfas, C. Samoila, “Web Development Techniques and Remote Laboratories”, International Journal of Online Engineering (iJOE) 5 (5), pp. 81-83, 2009;
- [6]. P. A. Cotfas, D. T. Cotfas, D. Ursutiu, C. Samoila, D. Iordache, “Chapter 3 New Tools in Hardware and Software Design Applied for Remote Photovoltaic Laboratory”, Abul K.M. Azad, A.K.M., Auer, M., V. Judson Harward, V.J. “Internet Accessible Remote Laboratories: Scalable E-Learning Tools for Engineering and Science Disciplines”, IGI Global, pp. 40-59, 2012;
- [7]. <https://vfpssoft.com/webpager/>;
- [8]. <http://www.labssocket.com/>;
- [9]. P.A. Cotfas, D.T. Cotfas, L. Floroian, D. Floroian, “General physics remote laboratory based on the NI ELVIS platform and Moodle”, Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV), 2014 11th International Conference on, IEEE Xplore;
- [10]. P. A. Cotfas, D. T. Cotfas, C. Gerigan, “Simulated, hands-on and remote laboratories for studying the solar cells”, IEEE Xplore - Intl Aegean Conference on Electrical Machines & Power Electronics (ACEMP), 2015 Intl Conference on Optimization of Electrical & Electronic Equipment (OPTIM) & 2015 Intl Symposium on Advanced Electromechanical Motion Systems (ELECTROMOTION), 2015, Side, Turkey;
- [11]. P.A. Cotfas, D.T. Cotfas, O.M. Machidon, “Remote Laboratories Based on Labview Web Services”, 8th International Conference on Education and New Learning Technologies - EDULEARN16,2016, Barcelona, Spain;

- [12]. O.M. Machidon, A.L. Machidon, P.A. Cotfas, D.T. Cotfas, "Leveraging Web Services and FPGA Dynamic Partial Reconfiguration in a Virtual Hardware Design Lab", International Journal of Engineering Education, Vol.33, 2(B), 2017;
- [13]. O. M. Machidon ; P. A. Cotfas ; D. T. Cotfas, "FPGA-enabled hardware multitasking applications in energy harvesting laboratories", IEEE 22nd International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME), 2016.

3 Instrumentația virtuală în studiul energiilor regenerabile

O direcție foarte importantă a domeniului de cercetare al autorului este cea a caracterizării și utilizării surselor de energii regenerabile și sistemelor de stocare de energie. Sistemele și aplicațiile create au aplicabilitate atât în domeniul cercetării cât și în cel al educației.

Cadrul socio-politic face din domeniul energiilor regenerabile unul dintre cele mai importante domenii pentru mediul științific și cel industrial. Astfel, prin directiva Parlamentului European privind utilizarea energiei din surse regenerabile s-a dorit și s-a reușit favorizarea creșterii utilizării acestor surse în sistemele energetice. Conform directivei din 2009 ținta ponderii de utilizare a energiilor din surse regenerabile pentru anul 2020 era de 20%. Astfel, dacă în 2007 ponderea la nivelul Uniunii Europene (UE) era de 10.4%, în 2015 a ajuns să fie de 17%. În 2014, Consiliul European a stabilit ca țintă pentru anul 2030 atingerea ponderii de 27% pentru utilizarea energiilor din surse regenerabile. În noile documente ale UE se vorbește de atingerea ponderii de 32% până în 2030 și creșterea eficienței energetice la valoarea de cel puțin 32.5% ⁽²⁾. O parte din măsurile luate în cadrul UE sunt susținute și la nivel global prin acordul din 2015 de la Paris. Sursele de energii regenerabile avute în vedere au la bază energiile: eoliană, solară, hidroelectrică, a mareelor, geotermală și a biomasei.

Conform “Renewable 2018 Status Report” al comunității REN21 contribuția energiilor regenerabile din totalul energiei consumate în 2015 avea o distribuție pe domenii de forma⁽³⁾:

- 48% energie consumată pentru încălzire din care 27% energie regenerabilă (biomasă 16.4%, electricitate regenerabilă 1.9%, alte surse regenerabile 8.4%);
- 32% energie consumată pentru transport din care 3% energie regenerabilă (biocombustibili 2.8% și 0.3% electricitate regenerabilă);
- 20% energie electrică din care 25% energie electrică regenerabilă.

Și în 2017 creșterea producției energiei electrice s-a bazat pe investițiile realizate în adăugarea de noi facilități de producție bazate pe sursele fotovoltaice și eoliene. Astfel, capacitatea totală existentă în lume la finalul anului 2017 era de 402GW pentru sursele fotovoltaice și de 539GW pentru sursele eoliene. Capacitatea fotovoltaică instalată în 2017 a fost de 98GW, mai mare cu aproximativ 33% decât cea instalată în anii precedenți, iar capacitatea eoliană instalată a fost de 58GW, mai mare cu 11% decât cea instalată în anii precedenți.

Costurile sistemelor fotovoltaice continuă să scadă datorită inovațiilor tehnologice folosite în fabricarea lor, politicilor și modelelor adoptate de companii adaptate la piață, conducând astfel la scăderea prețului sub valoarea de 21\$/MWh.

² <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-strategy-and-energy-union/clean-energy-all-europeans>;

³ http://www.ren21.net/gsr-2018/chapters/chapter_01/chapter_01/.

Datorită acestor tendințe ce au evoluat se justifică abordarea acestui domeniu de către echipa de cercetare din cadrul C13 ICDT – Sisteme Electronice Integrate și Comunicații Avansate, atât pe partea de caracterizare a surselor de energie regenerabile (în principal a celor fotovoltaice) cât și pe partea de creștere a performanțelor lor.

În acest capitol vor fi abordate aspecte legate de măsurarea radiației solare, de caracterizarea celulelor și panourilor fotovoltaice, de caracterizarea sistemelor hibride cu două sau trei componente în lumină naturală sau de laborator și în lumină concentrată.

3.1 Sistem automat de urmărire a soarelui

O primă aplicație a instrumentației virtuale realizată în domeniul surselor de energii regenerabile a fost dedicată controlului și monitorizării unui sistem de urmărire a soarelui cu două axe E-V și N-S. Urmărirea soarelui s-a realizat cu ajutorul a două perechi de senzori (celule solare) dispuse în formă de piramidă cu unghiul de 45° . Sesizarea mișcării solare s-a realizat prin măsurători diferențiate pe senzorii N-S respectiv E-V. Sistemul se deplasează astfel încât diferența pe senzori să fie nulă. O caracteristică importantă a aplicației este cea de înregistrare a imaginilor sistemului de poziționare cu ajutorul unei camere web. Imaginile sunt foarte utile pentru identificarea evenimentelor meteo care au dus la modificarea poziției sistemului. Sincronizarea între imaginile înregistrate și valorile obținute de la celula fixă și de la senzori a permis analiza efectelor norilor asupra sistemelor de urmărire a soarelui bazate pe senzori și nu pe algoritmi matematici. Rezultatele sunt publicate în lucrarea [1].

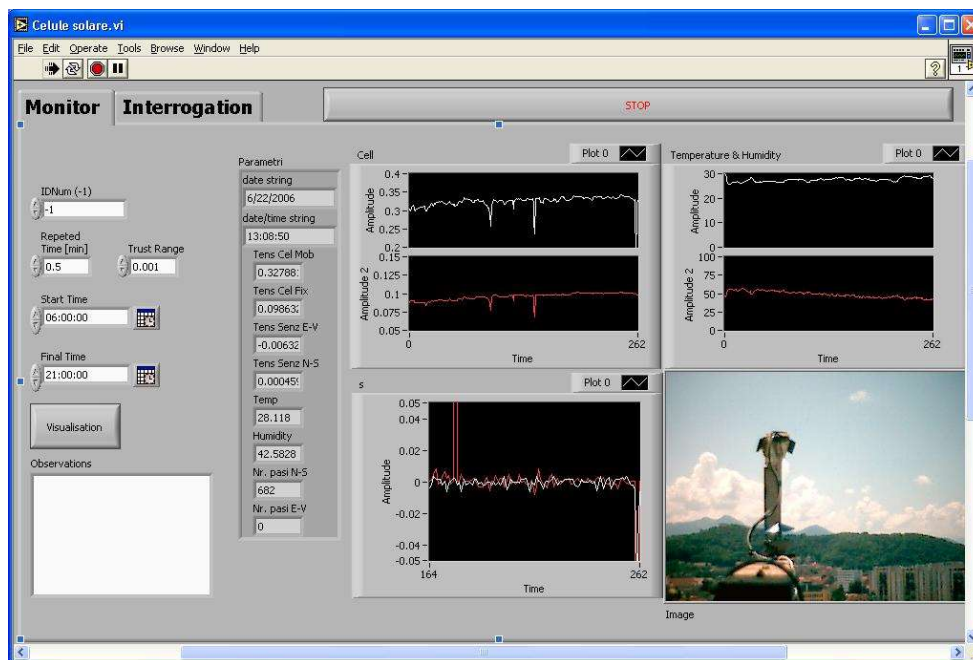


Fig. 35 Sistem de urmărire solară cu două axe [1]

3.2 Măsurarea radiației solare

Cunoașterea potențialului energetic solar reprezintă o informație foarte importantă pentru diverse domenii precum agricultura, climatologia sau construcțiile. Aplicații de genul: dimensionarea sistemelor fotovoltaice, prognoza vremii, deciderea tipului de cultură și a nivelelor de irigare sunt câteva exemple de aplicații ale domeniului IETTI unde măsurarea radiației solare este importantă.

Deoarece densitatea stațiilor meteo este relativ scăzută s-au construit modele de estimare a radiației solare pe regiuni. Aceste modele permit determinarea celor trei componente ale radiației solare: radiația globală, radiația difuză și radiația directă.

Din punct de vedere al sistemelor fotovoltaice este necesar de a avea astfel de modele de estimare a radiației solare pentru regiunile unde se dorește instalarea lor, cunoscând astfel potențialul energetic al sistemelor.

Măsurarea radiației solare se face utilizând piranometre ce utilizează senzori termici pentru un răspuns spectral larg. Configurații speciale permit determinarea tuturor celor trei componente ale radiației solare. Dezavantajele piranometrelor sunt costul ridicat, timpul de răspuns mare și dimensiunile mari.

O variantă mai simplă și mai ieftină de sistem de măsurare a componentelor radiației solare a fost propusă în lucrarea [2], fiind bazată pe două CS calibrate dispuse la 90° una față de cealaltă. Sistemul propus are trei subsisteme (Fig. 37 a și b).

Subsistemul de măsurare și comunicare este bazat pe modulul TAG4M care este un modul wireless cu consum redus, alimentat de la o baterie de 3.6V, fiind dotat cu patru canale analogice de intrare având rezoluția de 14 biți (Fig. 36). Pe cele patru canale au fost măsurate temperaturile celor două CS utilizând senzori de tip LM35 și curenții de scurt circuit generați de cele două CS folosind două rezistoare cu coeficient termic scăzut și cu rezistența mică ($<1\Omega$) cunoscută. TAG4M asigură conexiunea WiFi cu PC-ul prin intermediul unui router, distanța acoperită în câmp deschis fiind de 800m. Această facilitate asigură o flexibilitate crescută în realizarea monitorizării radiației solare. Măsurătorile de temperatură au permis aplicarea corecțiilor de temperatură asupra răspunsului CS.



Fig. 36 Modulul TAG4M

Subsistemul de control și poziționare (Fig. 37 c) este format dintr-o placă cu microcontroler ATMEGA 128 ce reprezintă componenta inteligentă a subsistemului de control, comandând un motor pas cu pas prin intermediul unui driver de motor proiectat și realizat de autor, asigurând poziționarea sistemului.

Subsistemul de alimentare (Fig. 37 c) constă în doi acumulatori de 6V/4Ah ce asigură autonomia sistemului și două convertoare DC-DC proiectate și realizate de autor de 3.3V și respectiv 5V pentru alimentarea modului TAG4M (înlocuirea bateriei de 3.6V) și respectiv alimentarea plăcii cu microcontroler.

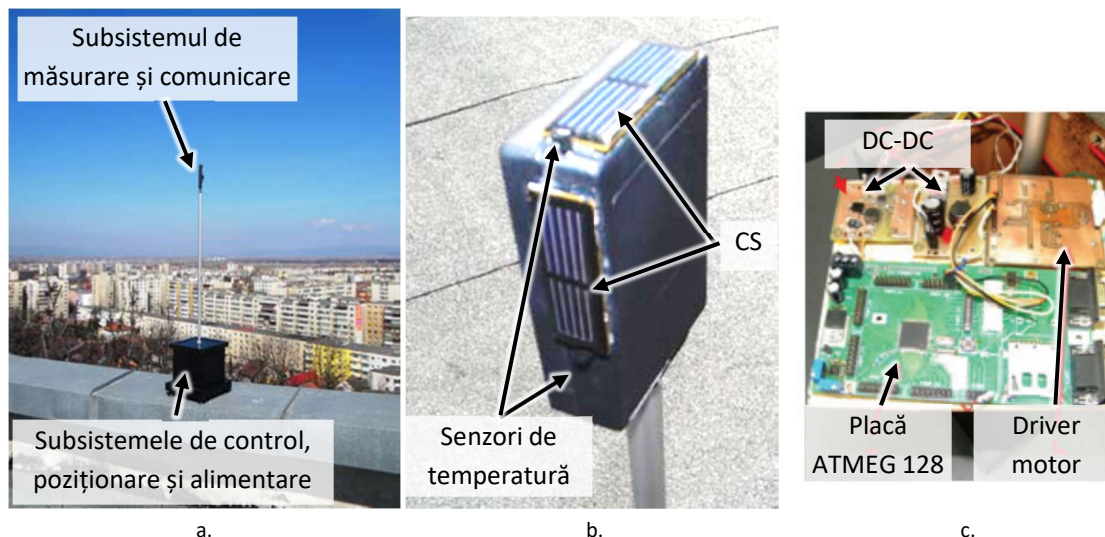


Fig. 37 Sistemul wireless de măsurare a radiației solare [2]
a. Sistemul complet
b. Poziția CS și a senzorilor de temperatură
c. Subsistemele de control și de alimentare

Subsistemul de poziționare asigură orientarea dispozitivului astfel încât CS verticală să fie în opoziție cu soarele, permițând determinarea într-un mediu izotrop a radiației difuze verticală și prin calcul a celei orizontale. CS orizontală măsoară radiația globală orizontală.

Compararea rezultatelor obținute cu sistemul dezvoltat cu cele obținute de la piranometrul Delta T SPN1 au validat sistemul propus. Corelarea rezultatelor obținute de la cele două sisteme pentru radiația globală orizontală a arătat o eroare de 0.9% iar pentru radiația difuză orizontală o eroare de 1.54%.

O aplicație importantă care rezultă din utilizarea CS în măsurarea radiației solare este cea de măsurare a albedoului unei suprafețe. Albedoul reprezintă raportul dintre radiația reflectată de suprafața studiată și radiația solară globală orizontală. Cunoașterea albedoului este importantă pentru multe domenii precum climatologie, agricultură și silvicultură, eficiența energetică a clădirilor, a surselor de energii fotovoltaice sau termosolare. Celulele solare au un răspuns rapid în timp la variațiile radiației incidente. Curentul de scurt circuit generat de CS este proporțional cu radiația incidentă pe suprafața ei. Astfel, este recomandată utilizarea lor ca senzori pentru măsurarea radiației reflectate respectiv globale orizontale, ceea ce

permite înlocuirea piranometrelor clasice care în general au dimensiuni și costuri relativ mari. Un impediment în utilizarea celulelor solare în locul piranometrelor ar fi răspunsul lor spectral. Acest neajuns poate fi ajustat prin calibrări atente ale CS pentru tipurile de suprafețe studiate [3].

Măsurarea albedoului presupune măsurarea radiației reflectate de suprafața studiată, ceea ce presupune plasarea senzorului deasupra suprafeței. Dar acest fapt conduce la umbrirea unei zone a suprafeței, ceea ce poate introduce erori semnificative în determinarea albedoului dacă dimensiunile senzorilor utilizați sunt mari. Există în literatura de specialitate metode matematice de corecție pentru eliminarea (micșorarea) acestor erori [4].

Avantajul CS în acest tip de aplicații este dat de faptul că celulele utilizate pot fi de dimensiuni foarte mici (ex. 1x1 cm), astfel că erorile introduse de umbra lor și a suportului, care la rândul său devine mult mai mic, se reduc semnificativ.

În literatura de specialitate există trei abordări pentru măsurarea albedoului:

- Măsurători de la nivelul atmosferei superioare – realizate cu ajutorul aparatelor de zbor gen avioane, baloane meteorologice sau chiar sateliți [5][6]. Această abordare însă nu este indicată pentru studiul suprafețelor mici.
- Măsurători în laborator – implică măsurători pe eșantioane de dimensiuni reduse. Aici trebuie luată în considerare utilizarea simulatoarelor solare pentru a avea spectrul radiației cât mai apropiat de cel solar [7].
- Măsurători în câmp – efectuate în condiții reale în câmp, fiind cea mai utilizată abordare [8]. Presupune utilizarea a unui sau a două piranometre. Plasând spate în spate cele două piranometre se pot măsura simultan cele două radiații: reflectată, respectiv solară globală orizontală. În cazul utilizării unui singur piranometru măsurătorile se fac în două etape: se măsoară radiația reflectată de către suprafața studiată apoi se întoarce piranometrul cu 180° și se măsoară radiația solară globală orizontală. Dezavantajul ar fi nesincronizarea măsurătorilor, avantajul fiind costul micșorat considerabil [4][8]

În Fig. 38 este prezentat un albedometru realizat cu două perechi de albedometre plasate spate în spate [8].

O soluție mai ieftină și mai ușor de implementat este albedometrul prezentat în Fig. 39 bazat pe două CS de siliciu monocristalin plasate spate în spate [10]. CS sunt calibrate în prealabil. Pentru corecțiile de temperatură au fost plasați doi senzori de temperatură în contact cu CS. Pentru măsurarea curenților de scurt circuit ai celor două celule și a semnalelor generate de senzorii de temperatură s-a utilizat modulul wireless Tag4M. Două dintre cele patru canale ale modulului sunt utilizate pentru măsurarea curentului de scurt circuit iar celelalte două pentru măsurarea temperaturii. Pentru măsurarea curentului de scurt circuit se folosesc două rezistoare de valoare mică ($<1\Omega$) și cunoscută. Raza de conectare wireless a sistemului în câmp

deschis este de aproximativ 800m, ceea ce permite utilizarea albedometrului ca un sistem stand-alone.

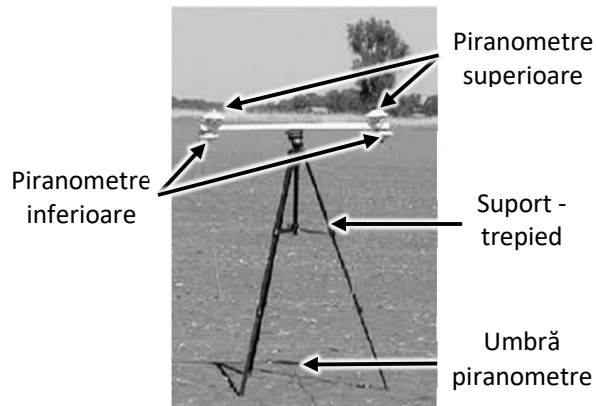


Fig. 38 Sistem de măsurare a albedoului cu două piranometre [9]

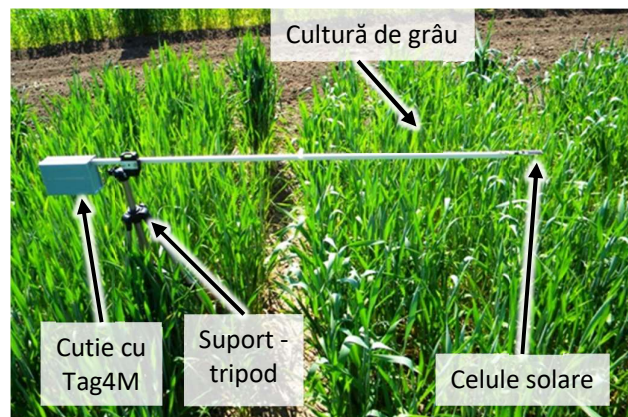


Fig. 39 Albedometru cu celule solare [10]

Interfața utilizator pentru albedometrul cu modulul Tag4M este prezentată în Fig. 40. Utilizatorul poate să vizualizeze modulul conectat la aplicație cu ajutorul indicatorului *Tag MAC*, starea bateriei *Vbat*, parametrii mășurați precum curenții de scurt circuit *A11* și *A12*, temperaturile pe cele două celule solare *A14* (0-10V) și *A10*. Valoarea albedoului, calculată pe baza valorilor mășurate cu corecțiile necesare, este afișată cu ajutorul indicatorului *ALBEDO*. Aplicația permite introducerea valorilor mășurate ale rezistențelor utilizate pentru mășurarea curenților. Prin apăsarea butonului *SALVARE* se poate înregistra valoarea albedoului mășurat. Evoluția în timp a albedoului calculat se poate vizualiza pe graficul *ALBEDO*. Acesta permite compararea valorilor obținute pentru mai multe suprafețe studiate.

Albedometrul dezvoltat a fost utilizat în mășurarea și studierea albedoului pentru diferite culturi de cereale aflate în diferite stadii de dezvoltare [11][12]. Astfel, s-au observat diferențe semnificative între valorile albedoului pentru culturile de grâu românesc de toamnă înainte și după anteză.

Pe baza experienței acumulate în măsurarea radiației solare s-a studiat radiația solară locală în zona Brașov creându-se un model de estimare a mediei lunare pentru radiația solară orizontală globală și difuză. Modelul a fost dezvoltat pe datele obținute prin măsurători pe parcursul a patru ani, 2008-2012. Pentru prelucrarea datelor s-a dezvoltat o aplicație complexă utilizând NI LabVIEW (Fig. 41). Aplicația permite importarea fișierelor de tip csv salvate de piranometrul SPN1 utilizat și calcularea mediei lunare a radiației solare globale și difuze locale și extraterestriale.

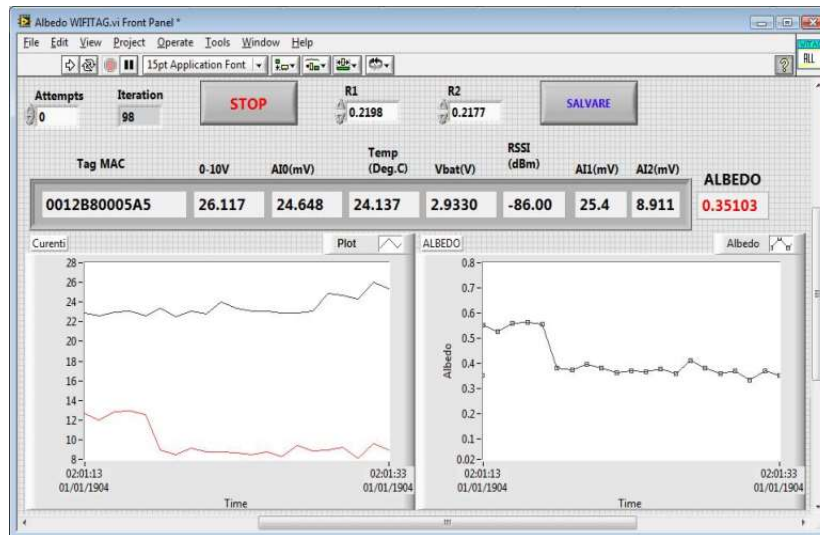


Fig. 40 Interfața utilizator dezvoltată pentru albedometru cu Tag4M

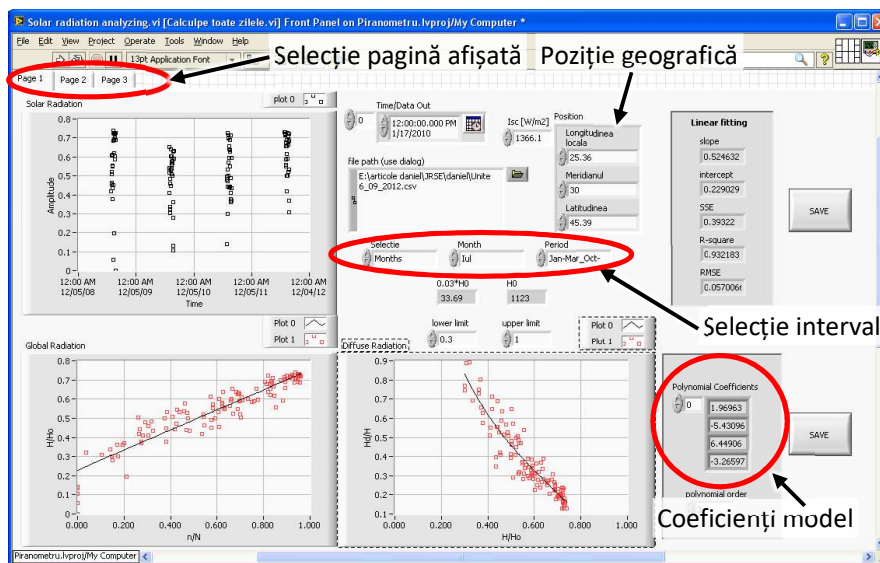


Fig. 41 Interfața utilizator pentru aplicația de prelucrare a datelor de la piranometru [13]

Un aspect important ce a reieșit din acest studiu este acela că pentru a obține estimări ale radiației solare locale cu acuratețe ridicată trebuie dezvoltate modele locale și utilizate în zona respectivă. Rezultatele au fost prezentate în lucrarea [13] publicată în revista Journal of Renewable and Sustainable Energy.

3.3 Caracterizarea celulelor solare

Utilizarea CS în producerea de energie electrică reprezintă una dintre cele mai importante surse de energie regenerabilă. Astfel, introducerea de metode noi de caracterizare a CS din ce în ce mai precise și mai rapide permite atât cercetătorilor cât și industriei să îmbunătățească performanțele celulelor dezvoltate/fabricate dar și găsirea de metode de optimizare energetică a modulelor realizate cu CS. Monitorizarea evoluției unor parametri pe parcursul exploatării modulelor poate oferi informații asupra gradului de degradare a acestora și astfel se pot extrage informații asupra timpului lor de viață.

3.3.1 Metode de caracterizare a CS

În literatura de specialitate există foarte multe metode de caracterizare a CS atât în regim static cât și în cel dinamic.

Din punct de vedere DC există metode ce permit determinarea tuturor parametrilor CS, dar sunt și metode care permit determinarea doar a unor parametri.

Majoritatea parametrilor DC ai CS se determină din caracteristicile curent-tensiune (I-U) (Fig. 42) ale acestora, pe baza circuitelor echivalente. Cel mai utilizat circuit echivalent al CS este cel cu o diodă (Fig. 43), utilizându-se însă și circuite echivalente cu două sau trei diode.

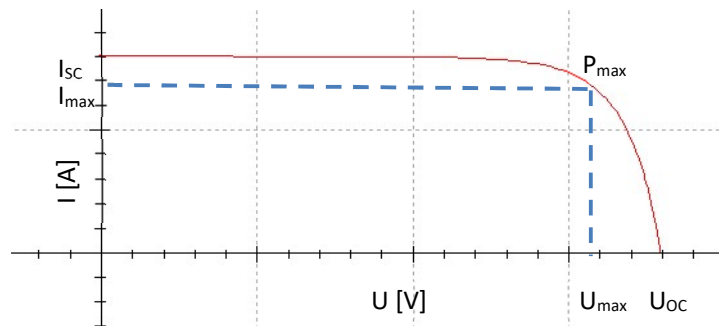


Fig. 42 Caracteristica I-U a CS

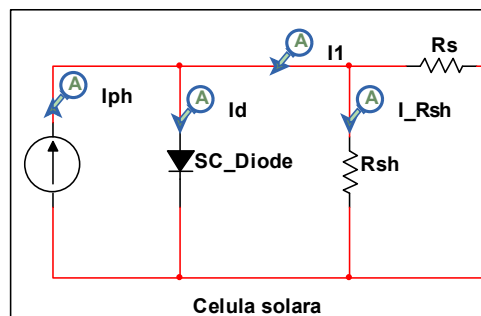


Fig. 43 Circuitul echivalent cu o diodă

Modelul matematic al circuitului cu o diodă este dat de relația:

$$I = I_{ph} - I_0 \left(e^{\frac{q(U+I R_s)}{m k T}} - 1 \right) - \frac{U + I R_s}{R_{sh}}, \quad (2)$$

unde I este curentul prin circuitul exterior, I_{ph} curentul fotogenerat, I_0 curentul invers de saturație, U tensiunea la bornele CS, m factorul de idealitate a diodei, q sarcina electrică elementară, k constanta lui Boltzmann, T temperatura absolută, R_s rezistența serie și R_{sh} rezistența șunt.

Parametrii de interes pentru CS sunt:

- I_{ph} – curentul fotogenerat;
- I_0 – curentul invers de saturație;
- I_{sc} – curentul de scurt circuit;
- I_{max} – curentul la putere maximă;
- V_{oc} – tensiunea de mers în gol;
- V_{max} – tensiunea la putere maximă;
- P_{max} – puterea maximă;
- R_s – rezistența serie;
- R_{sh} – rezistența șunt;
- m – factorul de idealitate a diodei;
- FF – factorul de umplere (fill);
- η – eficiența.

În lucrarea de review [14] publicată în revista Renewable and Sustainable Energy Reviews sunt prezentate și discutate o serie de 34 de metode de caracterizare a CS în domeniul DC. O parte dintre aceste metode au fost implementate software de către autori și utilizate în diverse alte publicații, fiind utilizate și în pachetul software al plăcii RELab (vezi § 3.3.2).

În lucrarea [15] a fost introdusă o nouă metodă de determinare a rezistenței serie și șunt a unei CS.

Metoda este bazată pe influența celor două rezistențe asupra caracteristicii I-U a CS. Astfel, influența R_s este de a deplasa spre dreapta caracteristica, în timp ce R_{sh} coboară caracteristica. Aceste influențe sunt mari în dreptul punctului de putere maximă. Astfel, prin compararea caracteristicii reale cu caracteristica ideală în care influența celor două rezistențe este neglijată, se pot determina valorile celor două rezistențe pe baza relațiilor:

$$R_s = \frac{V_{ideal} - V_{max}}{I_{max}}, \quad (3)$$

$$R_{sh} = \frac{I_{ideal} - I_{max}}{V_{max}}, \quad (4)$$

Metoda se poate aplica pentru caracteristica ideală determinată considerând factorul de idealitate $m=1$ sau pentru m egal cu valoarea determinată prin alte metode din caracteristica măsurată (v. Fig. 44).

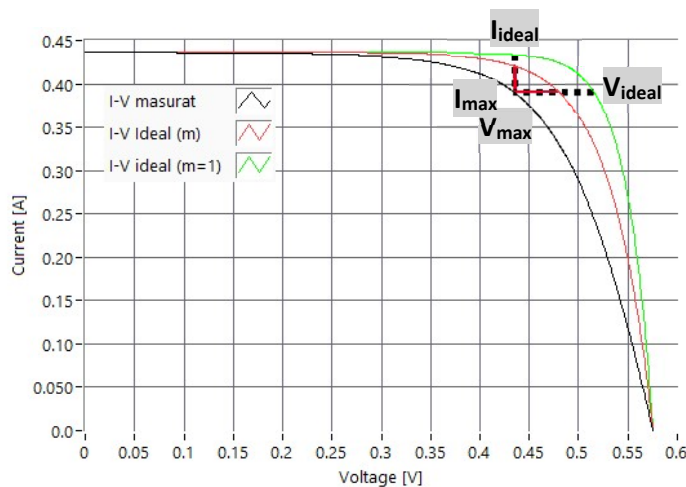


Fig. 44 Aplicarea metodei Cotfas pentru determinarea R_s și R_{sh} [15]

O metodă simplă de creștere a energiei produse de panourile PV a fost prezentată în lucrarea [16] publicată în revista International Journal of Photoenergy. Câteva metode de mărire a eficienței panourilor PV au fost discutate în această lucrare, precum: utilizarea de celule cu eficiență ridicată, mărirea ariei active a panourilor PV prin utilizarea de celule cu formă pătratică, orientarea panourilor fixe la unghiurile optime pentru zona geografică și dacă este posibil pentru sezon, utilizarea de sisteme de urmărire a soarelui, utilizarea celulelor cu răspuns spectral larg utilizând sisteme de concentrare de lumină. Metoda propusă de autorii lucrării [16] este plasarea panourilor PV la unghiurile optime pe suprafețe cu grad ridicat de reflexie. Studiul s-a efectuat pentru două panouri identice plasate astfel încât primul să fie expus unei suprafețe cu coeficient de reflexie mare (polistiren expandat de culoare albă), iar cel de-al doilea panou expus unei suprafețe cu coeficient de reflexie scăzut (bitum de culoare gri-negru). Prin măsurători de albedou s-a determinat că raportul dintre albedoul celor două suprafețe a fost de 6.34. Diferența dintre energiile produse de cele două panouri a fost între 7% și 15% în funcție de condițiile de funcționare (nivel de iluminare, zi senină sau înnorată).

Măsurarea caracteristicilor I-U s-a realizat cu ajutorul unei sarcini electronice cu două canale multiplexate, bazată pe tranzistori de putere de tip MOSFET dezvoltată de autori și o placă de achiziție de date NI 6036. Sistemul permite măsurarea caracteristicilor celor două panouri PV cvasi-simultan (diferența între cele două măsurători fiind de aproximativ 1s). Aplicația software de control și achiziție de date s-a realizat în NI LabVIEW (Fig. 45). Aplicația permite măsurarea repetată a caracteristicilor I-U la intervale de timp predefinite și stocarea măsurătorilor în fișiere de tip lvm (LabVIEW Measurement file). În același timp aplicația determină parametrii de interes ai panourilor PV: V_{oc} , I_{sc} , P_{max} , V_{max} și I_{max} .

Utilizarea conceptului de proiectare grafică de sistem (Graphical System Design) a fost utilizat în elaborarea lucrării [17]. Lucrarea prezintă o soluție de implementare a laboratoarelor simulate și față în față dedicată studierii celulelor solare. Soluția se bazează pe combinarea pachetelor software NI LabVIEW și NI Multisim și platforma hardware NI ELVIS II de tip "commercial off-the-shelf hardware". Pachetul software NI Multisim a fost utilizat pentru

crearea de modele PSPICE și studierea acestora. Astfel s-a creat modelul CS din Fig. 43 căruia i s-a atașat sarcina electronică formată din condensatorul C_5 conectat cu ajutorul unui comutator S_2 controlat de sursa V_1 (Fig. 46 a). Pentru ca rezultatele obținute prin simulare să se apropie cât mai mult de cele obținute prin măsurători s-a implementat și modelul circuitului de condiționare de semnal (CSC) bazat pe amplificatoarele de *instrumentație AD8221*.

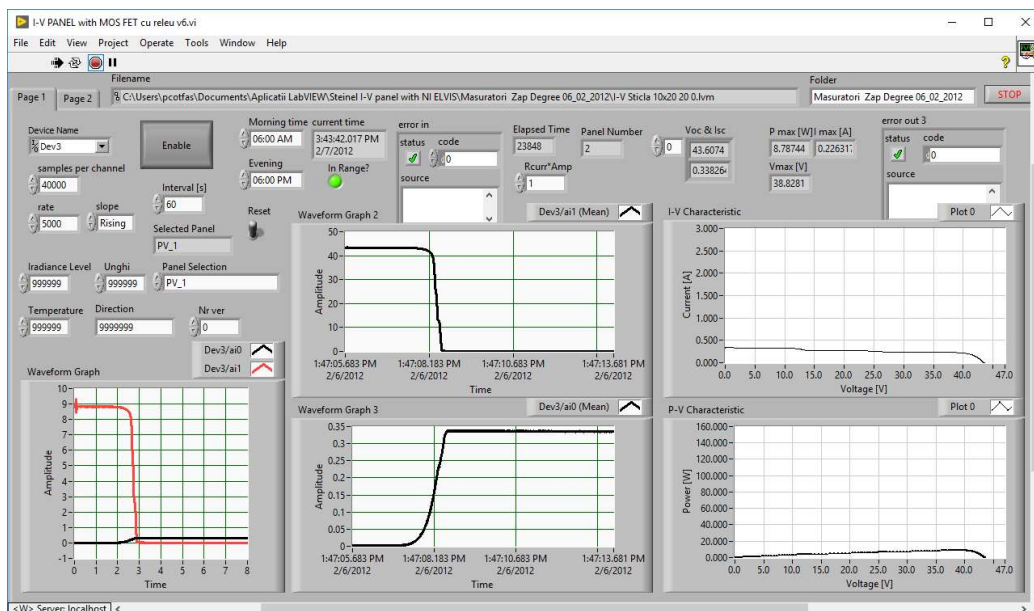
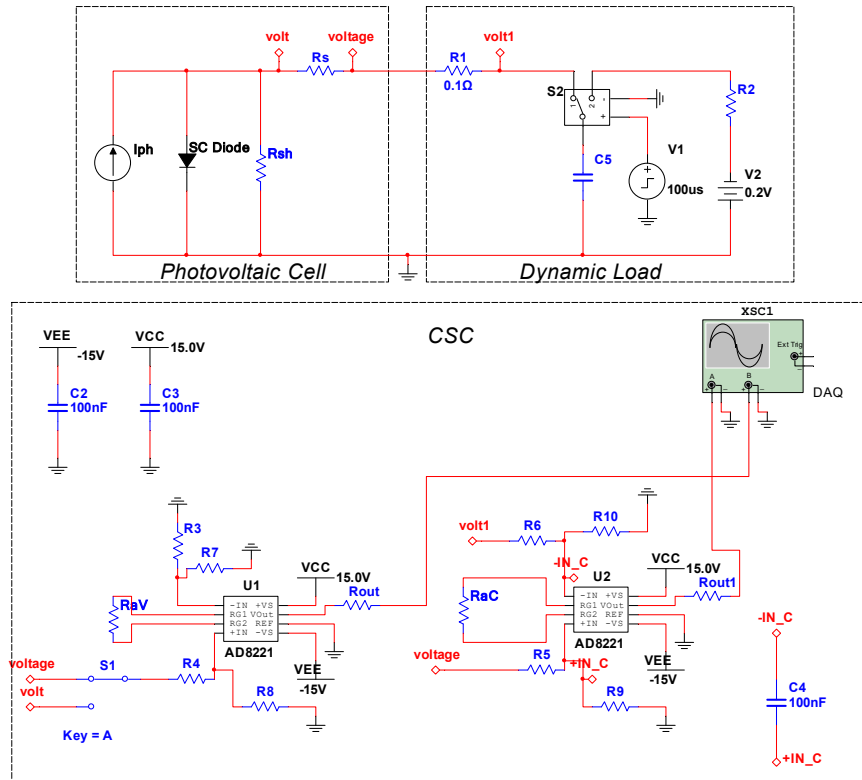


Fig. 45 Interfața utilizator a aplicației de măsurare a caracteristicilor I-U [16]

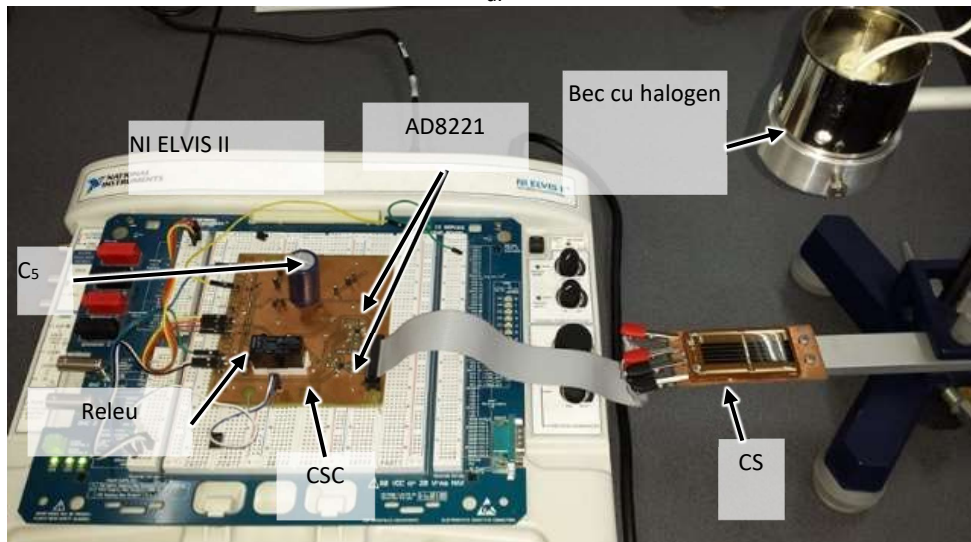
Măsurătorile s-au realizat cu ajutorul platformei NI ELVIS II și a CSC realizată conform schemei din cazul simulat și PCB-ul proiectat în NI Ultiboard.

Aplicația software dezvoltată permite apelarea directă a modelului din NI Multisim cu posibilitatea de schimbare a valorilor componentelor modelului CS, precum și controlul platformei NI ELVIS II pentru a realiza măsurarea caracteristicii I-U a CS reale. În acest mod, datele obținute prin simulare și prin măsurători pot fi comparate rapid și ușor.

Influența temperaturii asupra parametrilor CS a fost studiată și prezentată în lucrarea [18] publicată în revista International Journal of Photoenergy. Studiul s-a efectuat pe patru tipuri de celule comerciale: Si monocristalin (mSi), Si policristalin (pSi), Si amorf (aSi) și multijonctiune InGaP/InGaAs/Ge. Studiul a arătat că temperatura este un parametru important care afectează toți parametrii caracteristicii CS fapt care este confirmat de literatura de specialitate. Valorile dependenței parametrilor de temperatură sunt dependente de tehnologia folosită în fabricarea CS. O altă noutate adusă de această lucrare este corelarea coeficienților de temperatură absoluți cu nivelul de iluminare. Astfel s-a obținut o variație pentru puterea maximă în funcție de temperatură cuprinsă între $0.14\%/^{\circ}\text{C}$ și $0.47\%/^{\circ}\text{C}$ pentru CS analizate. Din punct de vedere al coeficienților de temperatură absoluți s-a observat o variație a acestora în funcție de nivelul de iluminare ce este prezentată în Tabel 1.



a.



b.

Fig. 46 Sistemul de determinare a caracteristicii I-U [17]
a. Simulare; b. Real

Din Tabel 1 se observă că dacă coeficientul de temperatură absolut pentru V_{oc} variază puțin cu nivelul de iluminare, ceilalți sunt puternic dependenți, mai ales cei pentru I_{sc} și P_{max} , care sunt cvasi-proportionali cu nivelul de iluminare. Astfel, prin această lucrare s-a propus un model de predicție a puterii maxime, a curentului de scurt circuit și a tensiunii de mers în gol în funcție de temperatură și nivelul de iluminare.

Modelul a fost verificat cu succes pentru celule de mSi cu dimensiuni diferite dar tăiate din același lot ca cele utilizate pentru determinarea coeficienților. Testarea s-a făcut în condiții de laborator dar și în condiții de iluminare naturală.

Tabel 1 Coeficienții de temperatură absoluți în funcție de nivelul de iluminare 400-1000W/m².

Tip CS	$dV_{oc}/dT(mV/^{\circ}C)$	$dI_{sc}/dT(mA/^{\circ}C)$	$dP_{max}/dT(mW/^{\circ}C)$	$dFF/dT(\%/^{\circ}C)$
mSi	-2.36 ÷ -2.24	0.265 ÷ 0.537	-0.251 ÷ -0.691	-0.138 ÷ -0.162
pSi	-2.29 ÷ -2.19	0.108 ÷ 0.215	-0.07 ÷ -0.163	-0.122 ÷ -0.147
aSi	-8.53 ÷ -8.09	0.00727 ÷ 0.0187	-0.0101 ÷ -0.0268	-0.026 ÷ -0.0487
Multij.	-7.46 ÷ -6.93	0.0125 ÷ 0.0253	-0.016 ÷ -0.040	-5.49E-4 ÷ -5.99E - 4

Aplicarea algoritmilor de optimizare utilizați în inteligența artificială au fost preluați și utilizați în determinarea mai precisă a parametrilor CS. Astfel de algoritmi utilizați în caracterizarea CS sunt: algoritmi genetici, algoritmi de optimizare cu roiuri de particule, algoritmi de optimizare cu roiuri de albine artificiale,... În lucrarea [19] a fost prezentată utilizarea unui algoritm genetic în caracterizarea CS și a panourilor PV în condiții de laborator și naturale. Compararea dintre utilizarea algoritmului genetic și metoda analitică cinci parametri a fost realizată și discutată.

Rezultatele au arătat că metoda algoritmului genetic a permis micșorarea abaterii standard în determinarea parametrilor de interes față de metoda analitică între valorile 2.7 și 4.6 pentru configurațiile folosite.

3.3.2 Placa RELab

Odată cu abordarea domeniului de cercetare a surselor de energii regenerabile a apărut necesitatea dotării cu sisteme de caracterizare a CS în cadrul colectivului în care autorul a lucrat. Astfel, s-a constatat că pe piață există foarte multe echipamente de caracterizare a CS care prezintă avantaje dar și dezavantaje de genul: foarte performante dar foarte scumpe, orientate către caracterizarea doar a CS sau doar a modulelor, etc.

Astfel, a apărut necesitatea de dezvoltare și personalizare a sistemelor de caracterizare a CS. Pe parcursul mai multor ani, prin dezvoltarea mai multor sisteme s-a ajuns la un produs final și comercial dedicat caracterizării CS cu performanțe ridicate, denumit RELab. RELab este o placă add-on pentru platforma NI ELVIS II ce înlocuiește placa de prototipaj electronic a platformei. Structura hardware a plăcii este una modulară, mărindu-i astfel flexibilitatea și ușurința de îmbunătățire prin adăugarea de noi module.

RELab acoperă trei componente ale surselor de energii regenerabile și anume:

- fotovoltaic – permite caracterizarea CS atât în domeniul DC cât și în domeniul AC;
- eolian – permite studiul turbinelor eoliene;
- termosolar – studiul colectoarelor solare.

3.3.2.1 SolarLab

Componenta RElab dedicată studiului CS este denumită SolarLab.

Structura SolarLab include următoarele module (Fig. 47):

- a. placa suport – permite conectarea tuturor modulelor și componentelor plăcii;
- b. modulul de control al iluminării – dedicat controlului curentului injectat prin becul de halogen;
- c. modulul de control al încălzitorului – are rolul de a controla curentul injectat prin încălzitorul utilizat pentru reglarea temperaturii CS;
- d. modulul de ridicare a caracteristicii curent tensiune pentru CS – sarcină electronică pentru CS bazată pe variația impedanței unui condensator în procesul de încărcare/descărcare. Conține și partea de condiționare a semnalelor de curent și tensiune din circuitul CS;
- e. modulul de control al motorului pas cu pas – permite controlul unghiului și vitezei de rotație a CS față de radiația incidentă cu ajutorul unui motor pas cu pas. Controlul se poate face cu o rezoluție de până la $1/16$ din pasul motorului.
- f. sursa de lumină – formată din suportul și becul de halogen utilizat pentru iluminarea CS;
- g. motorul pas cu pas – dedicat schimbării unghiului dintre CS și radiația incidentă având rezoluția de 1.8° /pas;
- h. suportul CS – dedicat susținerii CS la nivelul sursei de lumină, încălzirii CS cu ajutorul încălzitorului de pe spatele suportului precum și măsurării temperaturii CS cu ajutorul senzorului de temperatură plasat în contact cu CS și nivelul radiației incidente cu ajutorul senzorului de lumină.

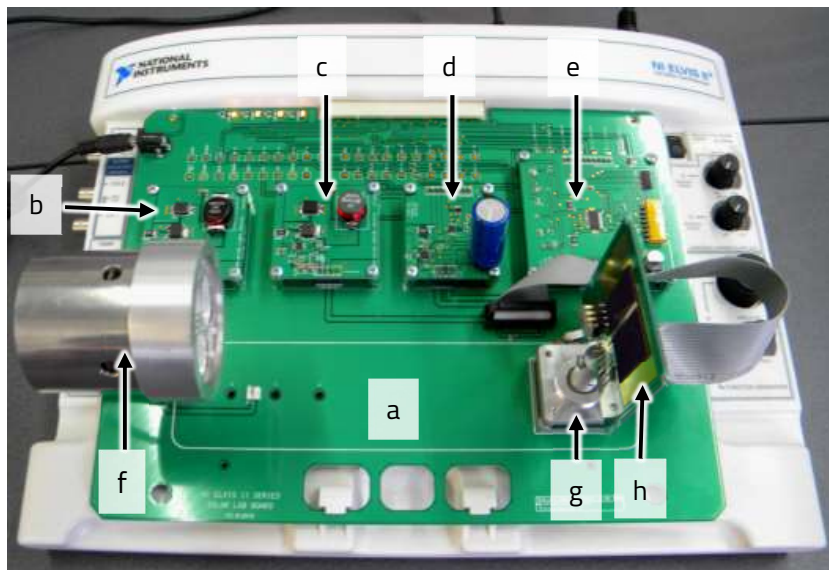


Fig. 47 SolarLab cu NI ELVIS II

3.3.2.2 WindLab

Prin schimbarea modului de măsurare a caracteristicii I-U a CS cu modulul de vânt ce are rolul de sarcină electronică reglabilă pentru turbina eoliană conectată în locul CS, SolarLab se transformă în WindLab. Modulul de vânt conține și sistemul de condiționare de semnal pentru măsurarea curentului și a tensiunii de la bornele turbinei eoliene.

Turbina aleasă de la firma Horizon permite schimbarea numărului de pale, tipul de pale precum și unghiul de atac al paletelor. Dacă sursa de vânt permite reglarea vitezei vântului, atunci se poate studia și efectul acestui parametru asupra funcționării turbinelor eoliene.

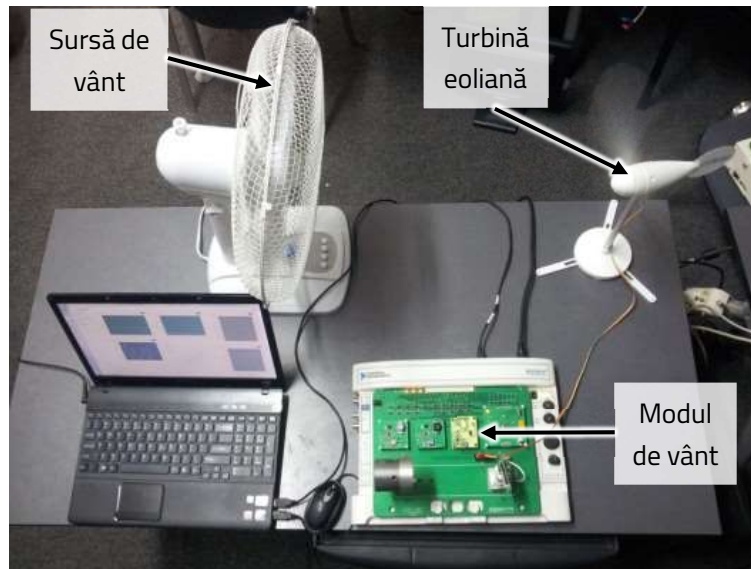


Fig. 48 WindLab cu NI ELVIS II

3.3.2.3 ThermalLab

Pentru studierea colectoarelor termo-solare s-a realizat un colector de dimensiuni reduse prevăzut cu doi senzori de temperatură la intrare și respectiv la ieșire. Colectorul este conectat la un rezervor de apă care are rol de termostat. Mișcarea apei prin colector este asigurată cu ajutorul unei pompe de apă controlată cu ajutorul modului de control al încălzitorului care acum are rol de modul de control al pompei. Debitul apei prin colector este măsurat cu ajutorul unui debitmetru. Modulul de măsurare a caracteristicii I-U a CS este înlocuit cu un nou modul dedicat măsurării celor două temperaturi, de la intrarea respectiv ieșirea din colector, și a debitului de apă prin colector. Colectorul solar este plasat pe motorul pas cu pas, în locul suportului pentru CS. Acest fapt permite studierea colectorului solar în funcție de unghiul de incidență a radiației.

3.3.2.4 Softul dedicat plăcii RELab

Aplicația software de control a plăcii RELab pentru platforma NI ELVIS II este realizată în NI LabVIEW. Proiectul LabVIEW are structură de driver. Această structură permite înțelegerea modului de funcționare a plăcii dar permite și realizarea de noi metode de caracterizare a surselor de energii alternative studiate. Aplicația de lansare a lucrărilor de laborator

implementate este prezentată în Fig. 50. Aceasta permite pornirea fiecărei lucrări de laborator implementată prin apăsarea butonului corespunzător lucrării dorite. Interfața are trei taburi corespunzătoare celor trei surse de energii studiate (Fig. 50 a).

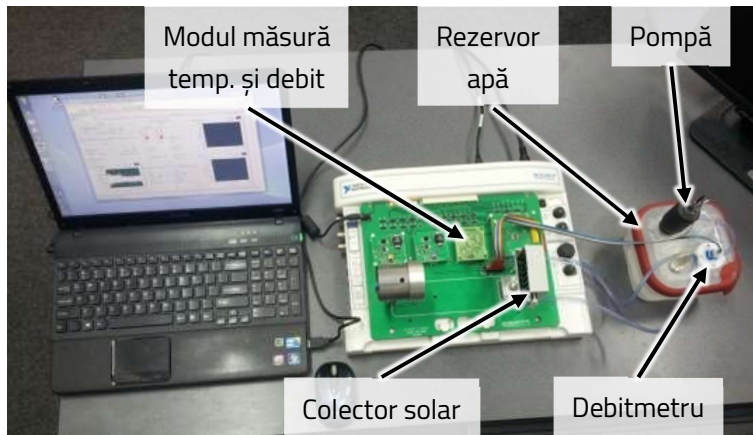


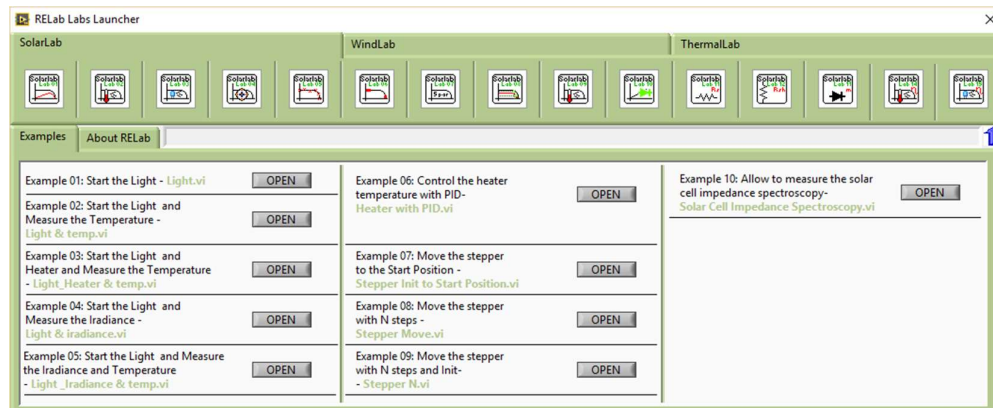
Fig. 49 ThermalLab cu NI ELVIS II

În formă extinsă, interfața permite accesul la exemplele dezvoltate care permit înțelegerea utilizării modulelor luate separat (Fig. 50 b).

Lucrările de laborator sunt structurate în patru pași. În primul pas studenții trebuie să citească teoria despre experimentul ce urmează a fi realizat. Pasul doi reprezintă efectuarea măsurătorilor. Pasul trei presupune introducerea manuală a datelor citite de pe graficele/indicatoarele din pasul de măsurare și compararea cu cele determinate automat de aplicația software. În pasul al patrulea, care este opțional, se pot compara rezultatele din pasul trei cu cele calculate în mod automat de către aplicație. Aplicația permite salvarea datelor măsurate precum și generarea de rapoarte.



a. Forma restrânsă



b. Forma extinsă

Fig. 50 Aplicația de lansare a laboratoarelor pentru placa RElab

Lista lucrărilor care pot fi realizate cu ajutorul plăcii RElab este prezentată mai jos:

SolarLab

1. Măsurarea caracteristicilor I-U și P-U (Fig. 51.a);
2. Dependența de temperatură a parametrilor I_{sc} și V_{oc} (Fig. 51.b);
3. Variația parametrilor I_{sc} și V_{oc} în funcție de nivelul de iluminare (Fig. 51.c);
4. Variația parametrilor I_{sc} și V_{oc} în funcție de unghiul de incidență a radiației;
5. Determinarea parametrilor celulelor solare pe baza metodei fitării neliniare a caracteristicii I-U;
6. Determinarea rezistențelor șunt și serie ale celulelor solare;
7. Determinarea parametrilor importanți pe baza metodei analitice "5 parametri";
8. Metoda celor două caracteristici pentru determinarea rezistenței serie;
9. Variația curentului invers de saturație în funcție de temperatură;
10. Determinarea factorului de idealitate a diodei și a curentului invers de saturație;
11. Metode de determinare a rezistenței serie a CS (5 metode);
12. Metode de determinare a rezistenței șunt a CS (2 metode);
13. Metode de determinare a factorului de idealitate a diodei (2 metode);
14. Variația eficienței și a factorului de umplere în funcție de temperatură;
15. Variația eficienței și a factorului de umplere în funcție de nivelul radiației incidente;
16. Determinarea parametrilor AC ai CS pe baza spectroscopiei de impedanță (Fig. 51.d).

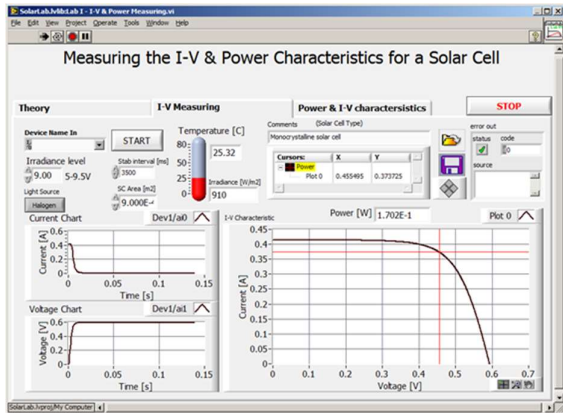
Această listă poate fi completată prin implementarea de noi metode de caracterizare a CS dezvoltate de utilizator prin utilizarea proiectului LabVIEW pus la dispoziție.

Wind Lab

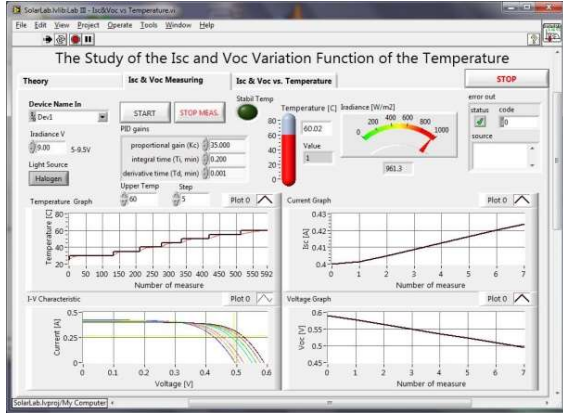
1. Studiul turbinei eoliene în funcție de viteza vântului (Fig. 51.e);
2. Studiul efectului unghiului de atac al palelor asupra eficienței turbinei eoliene;
3. Studiul efectului numărului de pale asupra eficienței turbinei eoliene;
4. Studiul efectului formei palelor asupra eficienței turbinei eoliene;
5. Caracteristica de putere a turbinei eoliene.

ThermalLab

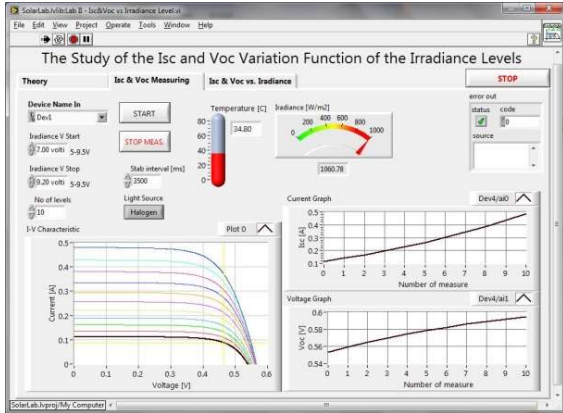
1. Studiul colectorului solar (Fig. 51.f);
2. Studiul colectorului solar în funcție de nivelul de iluminare și de debit;
3. Studiul colectorului solar în funcție de unghiul de incidență.



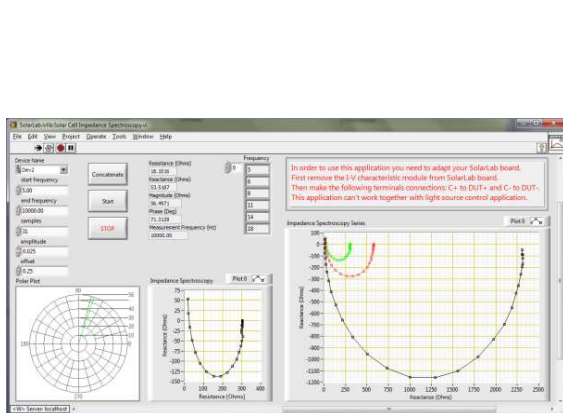
a.



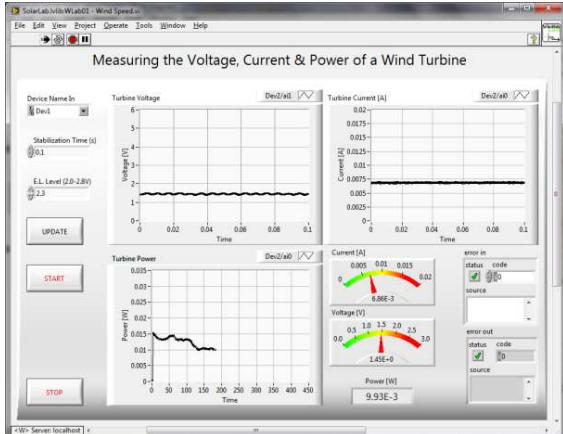
b.



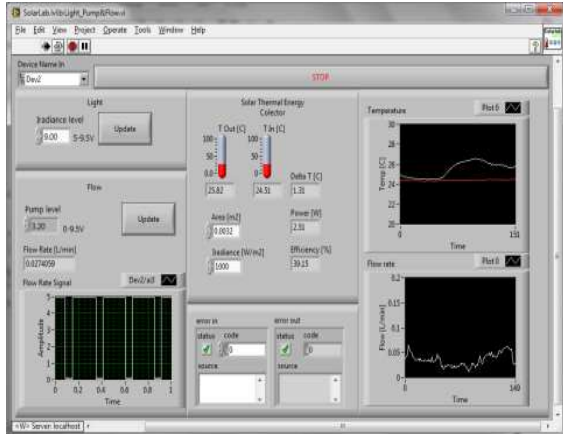
c.



d.



c.



d.

Fig. 51 Interfețe utilizator pentru diverse lucrări de laborator realizate cu placa RELab

Educația orientată pe student

De multe ori este de dorit ca studenții să aibă acces la resursele practice și în afara laboratorului sau chiar acasă. În acest caz este nevoie de unelte de măsură și control de dimensiuni reduse și mai ales de cost redus. O posibilă soluție este dată de placa NI myDAQ care are prețuri speciale pentru studenți și care include versiunea LabVIEW Student.

Luând în considerare această opțiune am proiectat și realizat versiunea RElab pentru myDAQ denumită miniRElab (Fig. 52). Această versiune permite ca primele două surse de energie să fie studiate în mediu natural sau în mediu artificial (laborator).

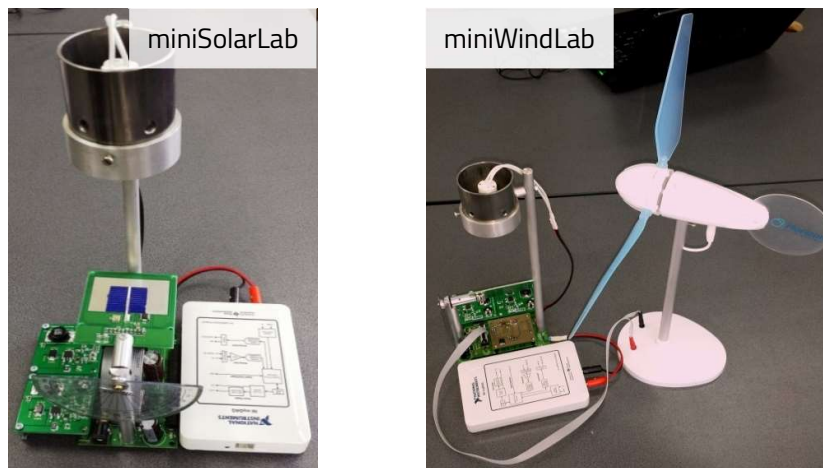


Fig. 52 miniRElab cu myDAQ

Este suficientă conectarea plăcii NI myDAQ cu miniRElab la un laptop și se pot studia atât CS cât și turbinele eoliene afară, în parc sau pe terasă. Dacă studenții vor să studieze în interior atunci se adaugă modulele de control al sursei de lumină și al încălzitorului, sursa de lumină și sursa de alimentare externă.

Varianta miniRElab este compatibilă și cu platforma NI myRIO (Fig. 53). Aceasta aduce avantajul puterii de calcul dată de procesorul în timp real și de circuitul FPGA incluse. Un alt avantaj al platformei NI myRIO este cel de comunicare wireless ceea ce permite realizarea măsurătorilor la distanță, fără a mai fi nevoie de un cablu de conexiune între placă și calculator.

Lucrarea despre placa RElab și miniRElab a fost prezentată la evenimentul NI Days 2012 la București, câștigând faza națională a concursului *Graphical System Design Achievement Awards* organizat de National Instruments România. Ulterior a fost trimisă la faza globală unde în 2013 în cadrul conferinței NI WEEK a câștigat trei premii pentru categoria educație, premiul editorilor precum și premiul comunității NI.

Mai jos este paragraful care a fost publicat de site-ul de la NI cu privire la câștigarea celor trei premii: «The case study from the Transylvania University of Brasov, Romania, titled “Developing a Renewable Energy Laboratory Using NI ELVIS, NI LabVIEW, and NI myDAQ,” has been selected as a finalist in the Education category as one of the best examples of graphical system design, so Petru and Daniel travelled to Austin to take part at the conference and the awards ceremony to be recognized as finalists and so find out if they have won in their category. The awards ceremony was a huge success for the brothers as they came in as winners of the Education category as this year’s most innovative project in the world in the field of Education. What is more, they succeeded and won two more awards, namely the

Editor's Choice Award which is based on the votes of the editors attending NIWeek as well as the NI Community Choice Award which reflects the preference of the engineering audience of the NI community who voted on their favourite projects online. With these 3 awards the Romanian project finished the contest as the most successful one this year in the world.»
ftp://ftp.ni.com/pub/branches/ee/2013/academic_newsletter/gsdaa_2013.pdf



Fig. 53 miniRELab cu myRIO

În Fig. 54 este prezentată poza cu decernarea premiilor în cadrul conferinței NI WEEK 2013, Austin, Texas.



Fig. 54 Graphical System Design Achievement Awards la NIWeek 2013

Dr. Petru Adrian Cotfas, Dr. Daniel Tudor Cotfas with Dr. T. and NI's Eastern European Team (Maciej Antonik, Ágnes Vajnai-Vad, Thorsten Mayer)

Pe baza dezvoltării și utilizării RElab au rezultat un număr semnificativ de articole [20]-[28], un capitol de carte publicat într-o editură internațională [29] precum și un proiect cu terți dezvoltat cu National Instruments USA denumit “Vendor Master Services Agreement”. Pe lângă publicațiile rezultate și premiile National Instruments, placa a fost distinsă cu medalia de aur la salonul de inventică EUROINVENT2015, Iași, România.

Conceptul, evoluția și proiectarea plăcii RElab au fost prezentate în lucrarea [28] publicată în revista Measurement. În plus în cadrul acestei lucrări s-a făcut o comparație între măsurătorile cu placa RElab și un echipament de tip potențiostat/galvanostat de la Zahner. Rezultatele au arătat că diferențele sunt neglijabile atât în domeniul DC cât și în cel AC (Fig. 55 a și b).

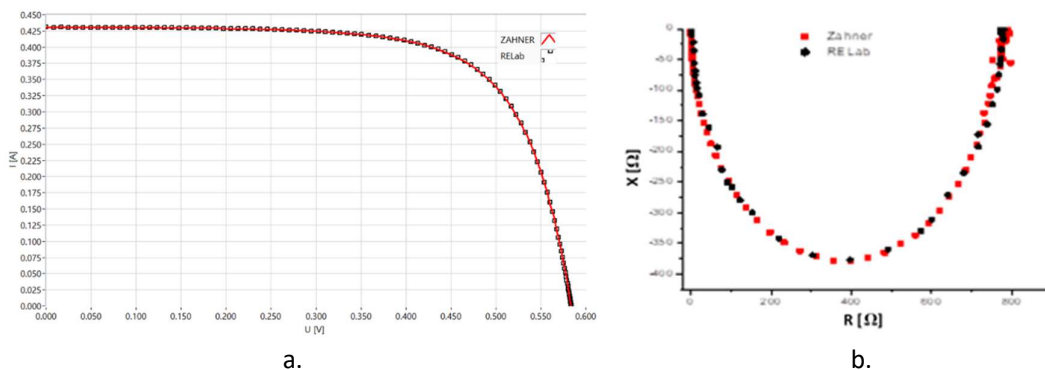


Fig. 55 Comparație RElab – Zahner [28]
a. Domeniul DC – Caracteristica I-U
b. Domeniul AC – Spectroscopie de impedanță

3.4 Caracterizarea celulelor solare in domeniul AC

Determinarea parametrilor dinamici ai CS poate oferi informații despre calitatea și starea de degradare a CS.

Cea mai utilizată metodă de caracterizare a CS în regim dinamic este metoda spectroscopiei de impedanță preluată din domeniul electrochimiei. Pe baza acestei metode se pot determina parametrii precum: capacitatea electrică, rezistența serie și paralelă. Metoda presupune aplicarea unui semnal electric AC (de tensiune sau curent) dispozitivului studiat - DUT (Device Under Test) și măsurarea semnalului AC rezultat (de curent sau tensiune). Pe baza tensiunii și a curentului AC se determină impedanța DUT pe baza relației:

$$Z = \frac{E_0 \sin(\omega t + \varphi_E)}{I_0 \sin(\omega t + \varphi_I)} \quad (5)$$

unde Z reprezintă impedanța DUT, E_0 , I_0 amplitudinile tensiunii și respectiv a intensității curentului AC pe/prin DUT, ω pulsația semnalului AC iar φ_E și φ_I sunt fazele inițiale ale tensiunii și respectiv intensității curentului electric AC. Spectrul de impedanță al DUT se determină prin variația frecvenței semnalului aplicat (Fig. 56). Prin fitarea spectrului obținut cu ajutorul unei funcții caracteristice circuitului echivalent al DUT se pot determina valorile componentelor circuitului. În cazul celulelor solare amplitudinea semnalului AC trebuie să fie de valoare mică (<25mV) astfel încât răspunsul CS să poată fi considerat liniar pe domeniul variației semnalului. Prin aplicarea unui semnal DC de polarizare, parametrii dinamici ai CS pot fi studiați în orice punct de pe caracteristica I-U a CS.

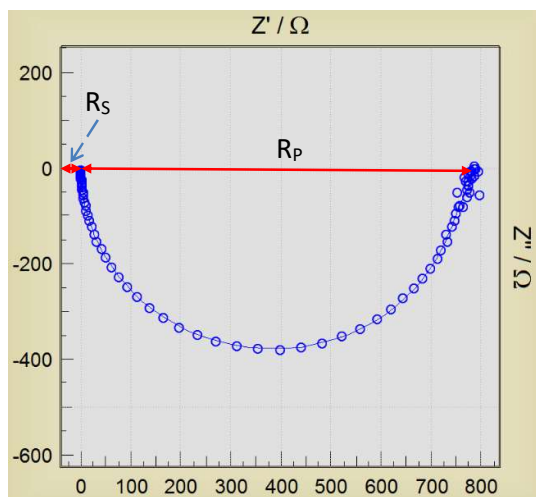


Fig. 56 Spectrul de impedanță al unei CS

În articolul [30] a fost introdusă o nouă metodă de determinare a capacității CS și a panourilor fotovoltaice. Metoda se bazează pe formarea unui circuit rezonant de tip RLC la conectarea unei bobine de inductanță L la bornele unei CS sau ale unui panou PV. Schema echivalentă a circuitului este dată în Fig. 57. Dacă CS sau panoul PV este iluminat, atunci la conectarea bobinei apare un semnal oscilant amortizat de forma celui prezentat în Fig. 58 a.

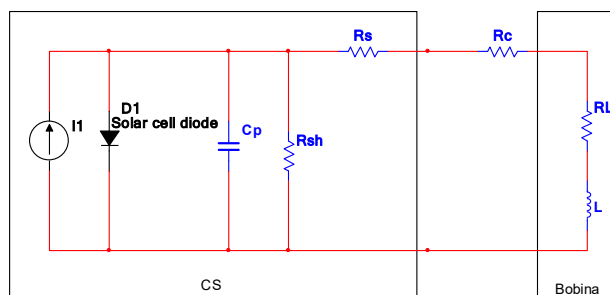


Fig. 57 Schema echivalentă a unei CS în AC

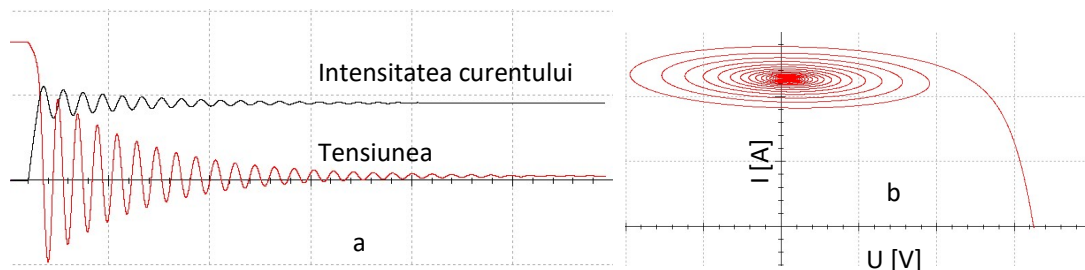


Fig. 58 a. Curentul și tensiunea obținute la bornele CS la conectarea unei bobine
b. Reprezentarea curentului în funcție de tensiune

Dacă se reprezintă curentul în funcție de tensiune se obține caracteristica I-U a CS cu variația amortizată în jurul punctului de scurt circuit ca în Fig. 58 b.

Cunoscând inductanța bobinei L și măsurând frecvența semnalului oscilant se poate deduce capacitatea circuitului RLC format. Astfel, se poate determina capacitatea electrică a CS sau panourilor PV:

$$C_p = \frac{1}{L\left(\omega^2 + \left(\frac{\omega\Delta}{2\pi}\right)^2\right)}, \quad (6)$$

unde C_p reprezintă capacitatea CS, L inductanța bobinei, $\omega=2\pi\nu$ pulsația semnalului, ν frecvența semnalului și Δ decrementul logaritmic al semnalului oscilant amortizat ce este dat de relația:

$$\Delta = \ln \frac{A(t)}{A(t+T)}, \quad (7)$$

cu $A(t)$ și $A(t+T)$ amplitudinile semnalului la momentul t și respectiv după o perioadă T .

Rezultatele obținute prin metoda propusă – RLC și prin metoda spectroscopiei de impedanță – IS au fost foarte apropiate, ceea ce a confirmat validitatea metodei. Diferența medie obținută între cele două metode a fost de 1.01% pentru măsurătorile făcute la diferite nivele de iluminare și cu bobine de diferite inductanțe (Fig. 59).

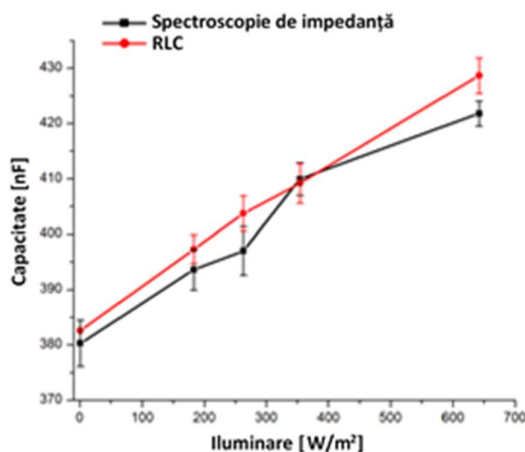


Fig. 59 Compararea rezultatelor obținute prin metoda spectroscopiei de impedanță și metoda propusă [30]

În urma studierii și analizei metodelor de caracterizare a CS în regim dinamic s-a reușit publicarea unui articol de review [14] în revista *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Există metode care permit determinarea tuturor parametrilor dinamici ai CS dar și metode care permit determinarea doar a unui parametru. În total 8 metode de caracterizare a CS sunt prezentate și analizate în această lucrare.

Printre metodele cele mai utilizate pentru determinarea tuturor parametrilor este metoda spectroscopiei de impedanță. În funcție de modul de polarizare DC metoda permite determinarea următorilor parametri: rezistența serie, rezistența dinamică, rezistența șunt, capacitatea de difuzie și capacitatea de tranziție.

O altă metodă este utilizarea semnalelor dreptunghiulare și analiza Fourier ce oferă informații despre amplitudinea și faza componentelor armonice ale semnalului. Astfel, spectrul de impedanță se poate obține prin utilizarea a doar câtorva măsurători la frecvențe diferite ale semnalului dreptunghiular aplicat. Și această metodă permite determinarea tuturor parametrilor la diferite nivele de polarizare DC a CS, atât în condiții de iluminare cât și la întuneric.

Alte metode prezentate sunt bazate pe tehnici de evoluție a sistemelor caracterizate în timp la aplicarea unor semnale de anumite forme. Aceste tehnici au în vedere efectele tranzitorii ale circuitelor de tip RC.

3.5 Caracterizarea CS în lumină concentrată

În cadrul proiectelor *7th Framework Programme of the EU - SFERA I și SFERA II* s-a început studierea CS în lumină concentrată. În cadrul proiectului SFERA I autorul a fost implicat în dezvoltarea sistemelor hardware și software de caracterizare a CS în lumină concentrată. Testele au fost realizate în cadrul a două granturi desfășurate la laboratorul Solar Research Facility Unit, Weizmann Institute of Science, Rehovot, Israel. Studiul s-a realizat la nivele de concentrare de până la 1000 de soli. Concentrarea s-a realizat în condiții de lumină naturală prin utilizarea de heliostate. Sistemul automat de caracterizare și expunere a CS la radiația concentrată prezentat în lucrarea [31] publicată în revista International Journal of Online Engineering (IJOE) este prezentat în Fig. 60.

Determinarea parametrilor CS în lumină mediu concentrată (40-300 soli) a fost realizată utilizând software-ul dezvoltat pentru placa RElab. Rezultatele obținute pentru trei tipuri de celule comerciale de mSi, pSi și CdTe au fost prezentate în lucrarea [32].

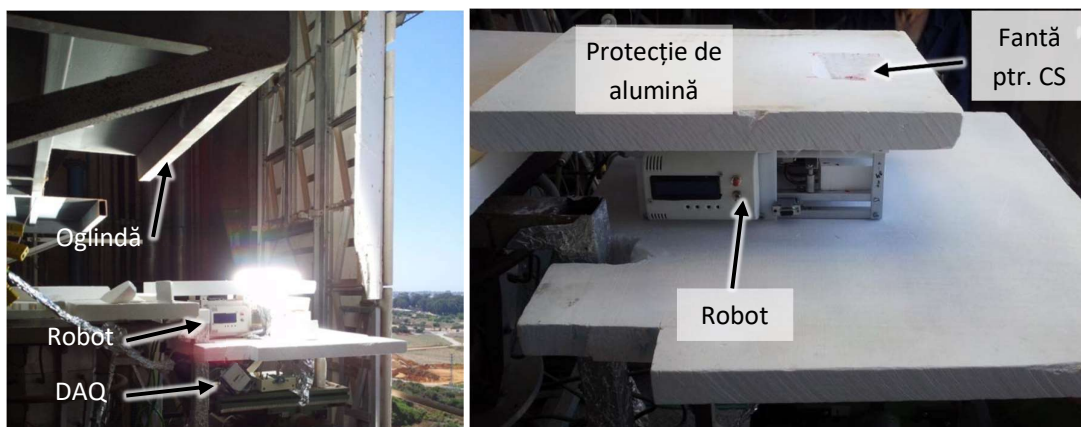


Fig. 60 Sistem automat de caracterizare a CS în lumină concentrată [32]

Experiența acumulată în cadrul proiectului SFERA I a dus la aplicarea pentru granturi în cadrul proiectului SFERA II. În cadrul acestui proiect s-au obținut patru granturi pe parcursul a patru ani, desfășurate în laboratorul de tehnologii solare din cadrul Institutului Paul Scherrer (PSI), Villigen, Elveția. Rezultatele obținute în cele patru granturi vor fi descrise în continuare.

Primul grant a avut ca subiect monitorizarea parametrilor diferitelor tipuri de CS în procesul de îmbătrânire utilizând lumina concentrată și nivelul de temperatură.

Scopul cercetării a fost acela de a introduce o nouă metodă de îmbătrânire accelerată a CS ca metodă de previziune a timpului de viață a CS, mai ales a celor dezvoltate recent și al căror timp de viață nu este cunoscut. Printre metodele utilizate pentru îmbătrânirea CS se regăsesc următoarele: testul la căldură și umiditate (Damp Heat Test), testul de stres ridicat (Highly Accelerated Stress Test), testul de stres accelerat pe nivele (Step-Stress Accelerated Ageing Tests), testul de stres termic în cicluri (Thermal Cycling Test) sau testul de degradare prin inducerea de potențiale (Potential Induced Degradation). Toate aceste metode sunt bazate pe condiții induse prin temperatură, umiditate și aplicarea unor potențiale sau injectarea în CS a unor curenți echivalenți curenților generați de CS în condiții de funcționare. Metoda propusă presupune expunerea CS la lumină concentrată și prin aceasta variindu-se și temperatura de funcționare. Metoda presupune fixarea temperaturii CS prin utilizarea unor sisteme de răcire controlate.

Deoarece timpul de expunere a celulelor trebuie să fie de ordinul zecilor de ore s-a avut în vedere facilitatea avută în laboratorul de tehnologii solare din cadrul PSI și anume utilizarea unui simulator solar cu flux înalt realizat cu lămpi de xenon. Studiul s-a realizat pentru patru celule, două identice de siliciu monocristalin și două identice multijoncțiune de tipul InGaP/InGaAs/Ge. CS au fost expuse la un flux al radiației luminoase de 190 sori (190kW/m^2).

Pentru monitorizarea evoluției parametrilor CS pe parcursul expunerii s-a realizat de către echipa proiectului un sistem de monitorizare și control pe baza platformei NI cRIO 9074 și a unei sarcini electronice cu patru canale dezvoltată pe baza variației impedanței condensatoarelor în procesul de încărcare/descărcare electrică. În plus, circuitul utilizat permite aplicarea unei sarcini de valoare controlată CS pe perioada de monitorizare, între două măsurători consecutive ale caracteristicilor I-U. Sarcina este bazată pe tranzistori MOSFET de putere cu rezistență internă mică.

Măsurarea curenților și a tensiunilor pentru cele patru celule s-a realizat cu modulele NI 9227 și respectiv NI 9215 prevăzute cu patru canale independente fiecare. Curentul maxim măsurat de modulul NI 9227 este de $5A_{RMS}$, astfel CS investigate au fost de dimensiuni reduse: $0.5 \times 0.5\text{cm}$ cele de siliciu monocristalin și respectiv $1 \times 1\text{cm}$ cele multijoncțiune pentru a nu depăși domeniul de măsură dar și pentru a asigura uniformitatea iluminării. Perechile de CS au fost studiate astfel: o CS din pereche a fost lăsată fără sarcină iar celelalte i s-a aplicat o sarcină care să o țină la puterea dorită. Cu ajutorul modulului NI 9211 s-au măsurat temperaturile oferite de termocuplele fixate pe fiecare CS. S-au mai folosit modulele NI 9401 de tip DIO pentru generarea comenzilor de pornire a măsurării caracteristicilor I-U și NI 9269 pentru generarea semnalelor analogice de control al tranzistoarelor MOSFET.

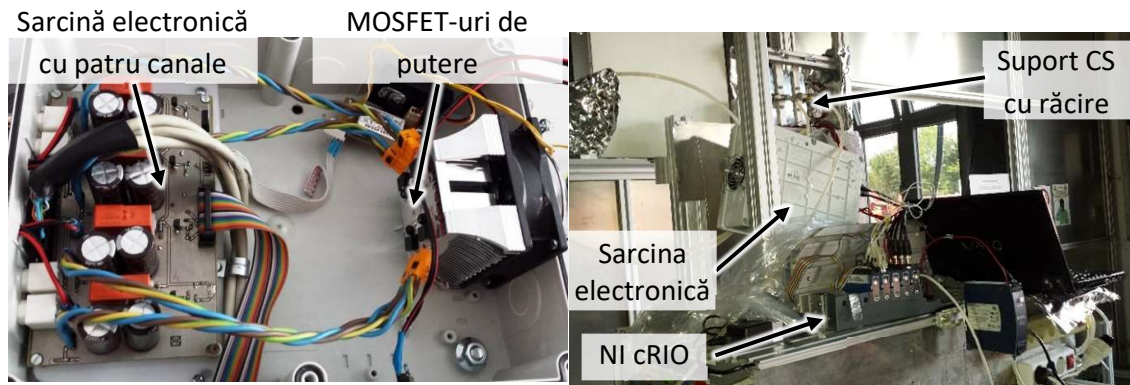


Fig. 61 Sistem automat de caracterizare a CS în lumină concentrată [33]

Aplicația software de monitorizare și control a fost dezvoltată în NI LabVIEW utilizând modulele de LabVIEW FPGA și LabVIEW RealTime. Aplicația are trei nivele corespunzătoare lucrului cu platformele de tip NI cRIO. Astfel aplicația la nivel FPGA asigură efectuarea măsurătorilor și controlul modulelor de ridicare a caracteristicilor I-U precum și controlul tranzistorilor MOSFET astfel încât să mențină CS la nivelul de putere dorit (normal puterea maximă).

Aplicația la nivelul procesorului real time al platformei NI cRIO are rolul de a interoga și transmite comenzile de pornire a măsurătorilor către FPGA. În același timp asigură prelucrarea locală a datelor (filtrare, netezire și determinare a parametrilor de interes ai CS) și înregistrarea lor în fișiere de tip TDMS (fișiere dedicate înregistrării și operării datelor în volum mare). Structura aplicației este de tip “*state machine*” care asigură o flexibilitate ridicată în dezvoltare și ușurință în depanare.

Aplicația la nivel de PC (Fig. 62) permite vizualizarea măsurătorilor dar și stabilirea configurației de lucru a sistemului (pornire, intervalul de timp de măsurare a caracteristicii I-U, rata de eșantionare și numărul de eșantioane, denumirea fișierelor de înregistrare a datelor, numărul de canale utilizate și modul manual sau automat de control al sarcinii aplicate CS între măsurători. Pentru comunicarea între platforma NI cRIO și PC s-au utilizat variabilele partajate de tip rețea oferite de mediul de programare LabVIEW.

Expunerea celulelor a durat 37 de ore, câte 7 ore pe zi, la un nivel de 190 sori și temperatura de 150°C. În urma analizei măsurătorilor s-au obținut rezultate ce s-au publicat în lucrarea [33] prezentată la conferința OPTIM 2015 și lucrarea [34] publicată în revista *International Journal of Photoenergy*.

S-a constatat că pentru CS nesupuse unei sarcini între măsurători (în regim de mers în gol) degradarea a fost mai accentuată, astfel pentru celulele de Si după 10 ore s-a atins criteriul de degradare introdus de Núñez [36] asupra puterii maxime și anume de 10% iar după 35 de ore s-a ajuns la 17%. Pentru CS multijoncțiune s-a ajuns la un nivel de degradare de 1.5% după 35 de ore. În cazul CS cu sarcină, degradarea a fost mult mai mică, de 6% pentru celulele de Si și neglijabilă pentru cele multijoncțiune. Astfel, s-a obținut o metodă rapidă de îmbătrânire a

CS în intervalul de 10-20 de ore pentru CS de Si. Acest studiu a condus la realizarea unei cereri de brevet în anul 2016 cu denumirea “Metodă și dispozitiv de testare accelerată a timpului de îmbătrânire a celulelor fotovoltaice – ARCL” [35].



Fig. 62 Interfața utilizator a aplicației la nivel de PC

3.6 Sisteme hibride

Găsirea de noi surse sau îmbunătățirea eficienței surselor de energie existente în domeniul energiilor regenerabile reprezintă o direcție importantă de cercetare atât în mediul academic cât și în cel industrial.

O soluție de creștere a producției de energie este cea de combinare a surselor de energie prin sisteme hibride (SH). În cazul surselor de energie bazate pe conversia energiei solare se pot distinge sursele:

- Conversia energiei solare în energie electrică prin efect fotoelectric – utilizarea panourilor PV;
- Conversia energiei termice în energie electrică pe baza efectului Seebeck – utilizarea generatoarelor termoelectrice (TEG);
- Conversia energiei solare în energie termică – utilizarea colectoarelor solare (STC).

Prin combinarea celor trei surse se pot obține SH de tipul:

- PV-STC – combinarea sistemelor PV cu colectoare solare are avantajul producerii energiei electrice prin PV și a energiei termice prin STC folosind același spațiu și aducând avantajul răcirii panourilor PV și astfel mărindu-le eficiența și timpul de viață;

- PV-TEG – combinarea celor două sisteme permite producerea energiei electrice de la ambele surse sau creșterea eficienței prin răcirea panourilor cu ajutorul TEG-urilor folosite ca elemente Peltier;
- PV-TEG-STC – combinarea celor trei permite îmbunătățirea performanțelor prin producerea de către PV și TEG a energiei electrice și de către STC a energiei termice utilizând aceeași suprafață expusă.

3.6.1 Sisteme hibride în lumină naturală

Studiul SH s-a desfășurat în cadrul proiectului de tip tânără echipă (PN-II-RU-TE-2014-4-1083), desfășurat între anii 2015-2017. Obiectivul principal al proiectului a fost studierea și realizarea de SH de tip PV-TEG-STC cu aplicații casnice.

În primă fază s-au studiat SH de tip PV-TEG prin simulări realizate în NI Multisim și compararea cu un sistem real. Rezultatele acestor studii s-au publicat în lucrarea [37]. Modelul PSPICE al SH implementat de către autor este prezentat în Fig. 63.

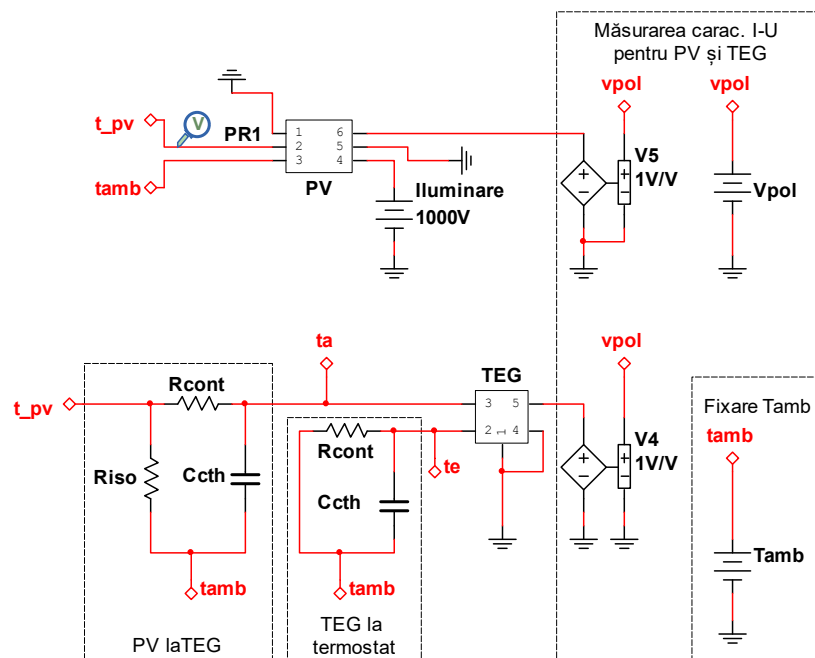


Fig. 63 Modelul PSPICE al sistemului hibrid PV-TEG [37]

Modelele celor două componente PV și TEG au fost implementate pe baza modelelor și ecuațiilor prezentate în [38]-[40]. Conexiunea termică între PV și TEG este modelată prin circuitul de tip RC *PV la TEG*, iar cea dintre TEG și termostat (în acest studiu termostatul s-a considerat a fi la temperatură constantă și egală cu temperatura mediului ambiant) prin circuitul de tip RC *TEG la termostat*. Ultima conexiune permite extinderea modelului pentru un sistem de tip PV-TEG-STC. În cazul sistemului real, conexiunile termice sunt realizate prin benzi termoconductive dublu adezive cu grosimi și conductivități termice diferite. Modelul permite

variația nivelului de iluminare și a temperaturii mediului ambiant precum și determinarea caracteristicilor I-U ale celor două componente. Compararea rezultatelor obținute prin simulare și prin măsurători a arătat diferențe mici (Fig. 64).

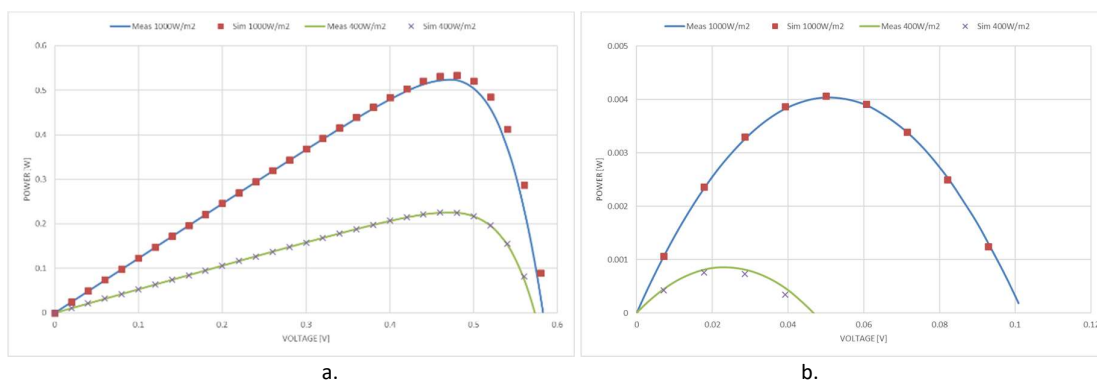


Fig. 64 Comparația simulare-măsurători pentru componentele sistemului hibrid [37]
a. PV; b. TEG

În condiții de laborator s-au studiat SH de tipul PV-TEG realizate din celule mSi, pSi și aSi cu TEG-uri Stonecold de tipul Bi_2Te_3 conectate cu benzi termoconductive dublu adezive cu grosimea de 1mm și conductivitate termică de $2\text{W/m}\cdot\text{K}$. Dimensiunile celulelor și a TEG-urilor au fost de $6\times 6\text{cm}$. Iluminarea s-a realizat cu un sistem format din 9 becuri spot cu halogen de 50W plasate în grup. Alimentarea becurilor s-a realizat cu ajutorul unei surse programabile Keithley seria 2260B de 1080W. Sistemul utilizat pentru ridicarea caracteristicilor I-U ale celor două componente ale sistemului este bazat pe platforma NI cRIO 9074 descrisă în § 3.5 cu adăugarea unui modul suplimentar de măsurare a temperaturilor NI 9213 și înlocuirea sarcinii electronice cu o sarcină cu două canale bazată pe amplificatoare operaționale de putere, dezvoltată de autor. Sarcina nouă permite măsurarea caracteristicilor I-U pentru domenii ale curenților mai largi, de la valori mici de ordinul mA până la 3A folosind amplificatoare de instrumentație cu amplificare reglabilă. Analiza datelor obținute a arătat că eficiența maximă atât din punct de vedere al energiei produse dar și din punct de vedere economic ($\$/\text{W}$) este obținută pentru combinația mSi/ Bi_2Te_3 [41].

Studiul SH de tip PV-TEG-STC s-a materializat prin lucrarea [42] publicată în revista Journal of Energy Engineering. Structura SH propusă de autori este de tip sandwich.

În acest studiu au fost considerate trei variante de SH și anume:

1. O CS de tip mSi cu dimensiunile de $8\times 8\text{cm}$, un TEG Bi_2Te_3 cu dimensiunile de $6.2\times 6.2\times 0.48\text{cm}$ și un mini STC cu dimensiunile de $9\times 9\text{cm}$. STC a fost realizat dintr-un bloc de cupru cu canalele pentru apă obținute prin frezare acoperite cu o placă tot de cupru cositorită. Suprafața plată a blocului masiv de Cu a permis realizarea unui contact termic foarte bun cu TEG-ul.

2. Patru CS de tip mSi conectate în serie cu dimensiunile de 7.8x15.6cm, două TEG-uri conectate în serie cu dimensiunile de 6.2x6.2x0.48cm și un STC confecționat din țevi de Cu cu dimensiunile totale de 22x32cm.
3. Identic cu versiunea 2 dar cu CS de tipul pSi.

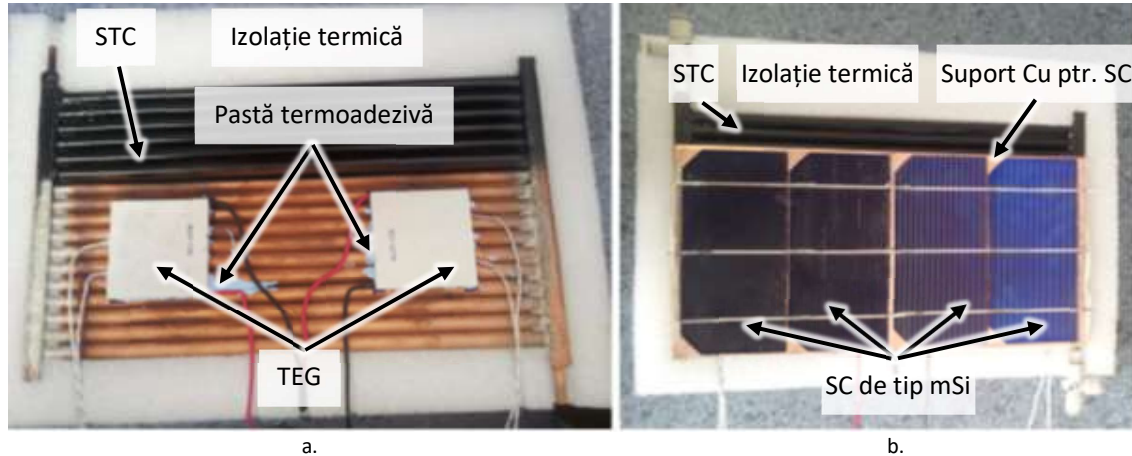


Fig. 65 SH de tip sandwich PV-TEG-STC [42]
a. Structură internă; b. SH final

Sistemul de măsurare descris în § 3.5 permite monitorizarea temperaturii dintre STC și TEG, dintre TEG și suportul CS, a CS, precum și a apei la intrarea/ieșirea în/din STC și din rezervorul de apă utilizat ca termostat pentru STC. Sistemul complet de caracterizare a SH în condiții naturale este prezentat în Fig. 66.

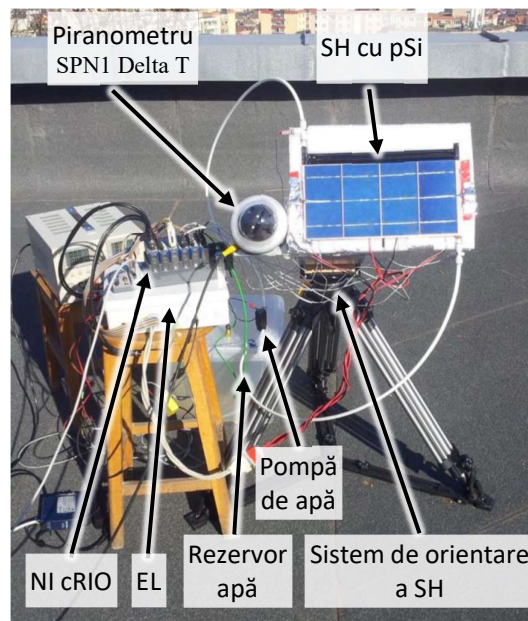


Fig. 66 Sistemul complet de caracterizare a SH de tip PV-TEG-STC [42]

Monitorizarea puterii maxime generate de componentele PV și TEG la diferite nivele de iluminare sunt prezentate în Fig. 67. S-a putut observa că în momentul schimbării nivelului de

iluminare se obține o creștere rapidă a puterii maxime generate de panoul PV până la o valoare maximă urmată de o descreștere. Descreșterea se datorează creșterii treptate a temperaturii celulelor. Această creștere de temperatură a fost observată și din răspunsul TEG-ului (Fig. 67 b). Prin utilizarea unui ventilator pentru simularea condițiilor de vânt s-au observat răspunsurile în timp și în putere ale celor două componente ale SH. Pentru fiecare nivel de iluminare momentul pornirii ventilatorului este indicat prin săgeata “fan on”. Diferența de temperatură dintre apa de intrare în STC și cea de ieșire din STC a variat între 1°C și 3°C.

Distribuția temperaturii pe CS a fost măsurată cu ajutorul unei camere cu termoviziune Testo. Datorită suportului de cupru pe care au fost plasate CS, distribuția de temperatură a fost bună, fiind mai scăzută în zona contactului cu TEG-urile cu o valoare de 1-1.5°C. În cazul opririi apei prin STC temperatura pe celule a crescut în medie cu 11°C.

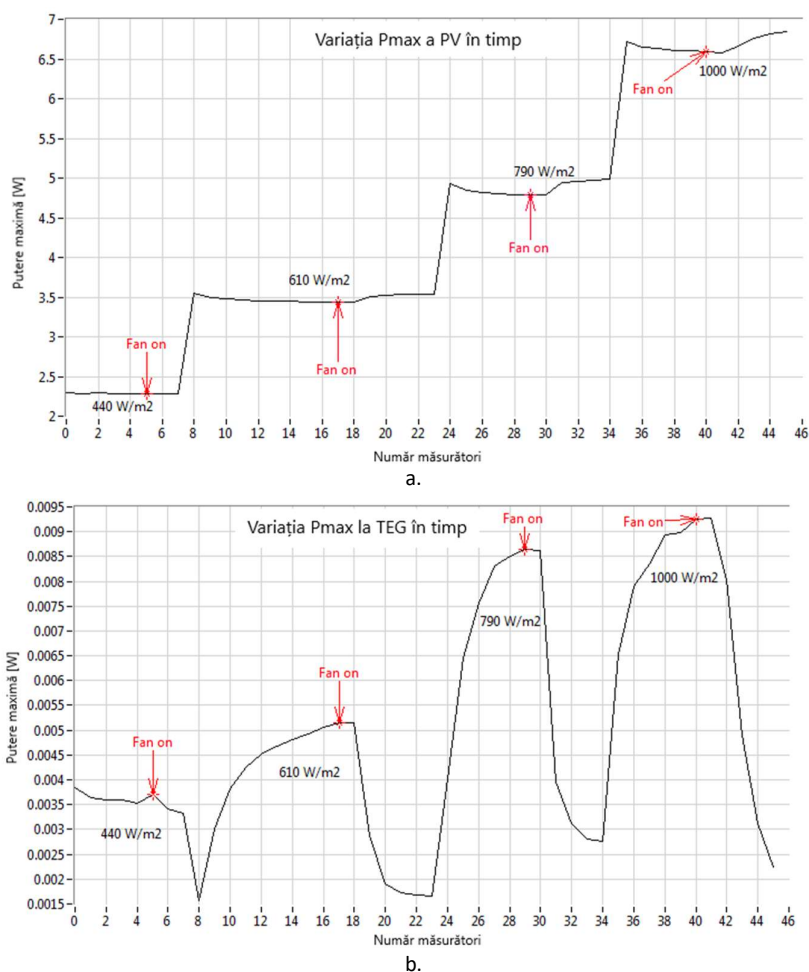


Fig. 67 Răspunsul în timp al SH la diferite nivele de iluminare
a. PV; b. TEG [42]

O concluzie importantă a acestui studiu a fost legată de scăderea temperaturii CS utilizate în SH cu până la 19°C în cazul nivelului de iluminare de 1000W/m² ceea ce se traduce printr-o

mărire a puterii generate cu mai mult de 11%. Un alt efect este cel de mărire a timpului de viață a CS datorită operării la temperaturi mai scăzute.

Pe baza acestor studii în anul 2017 s-a depus o cerere de brevet cu titlul "Sistem hibrid PV/TEG/STC pentru încălzire a apei dintr-o piscină" [44].

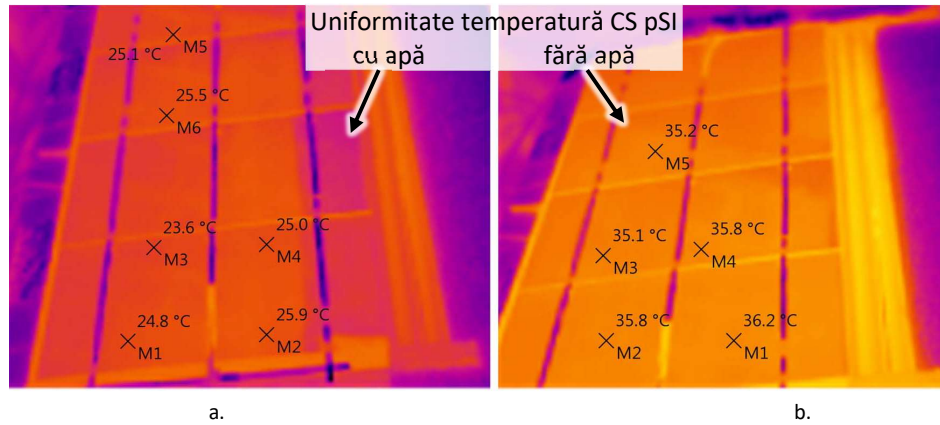


Fig. 68 Distribuția temperaturii pe CS [42]
a. cu apă prin STC; b. fără apă prin STC

3.6.2 Sisteme hibride în lumină concentrată

În granturile trei și patru din proiectul SFERA II desfășurate la Institutul Paul Scherrer (PSI), Villigen, Elveția s-au studiat SH de tip PV-TEG-STC și TEG-urile speciale dedicate gradientilor mari de temperatură.

Primul studiu a fost orientat către SH de tip PV-TEG-STC expuse la diferite nivele de iluminare cuprinse între valorile de 30 și 130 de sori [43]. Lumina concentrată a fost obținută cu ajutorul a patru lămpi cu xenon și un mixer optic utilizat pentru uniformizarea iluminării.

SH a fost format din:

1. Patru celule multijoncțiune InGaP/InGaAs/Ge două câte două conectate în serie fixate pe o placă de Cu cu ajutorul unei benzi dublu adezive de 0.1mm grosime și cu conductivitatea termică de 2.5W/m·K;
2. Două tipuri de TEG-uri, unul cu dimensiunile de 6x6x0.38cm (TEG1) iar cel de-al doilea cu dimensiunile 4x4x0.33cm (TEG2). Ambele sunt bazate pe materiale semiconductoare de tip Bi₂Te₃. În cazul TEG2 s-au utilizat patru TEG-uri conectate în serie. În acest caz toată suprafața STC-ului a fost acoperită;
3. Un STC plat realizat dintr-un masiv de Cu cu canalele pentru apă frezate și acoperite cu o placă tot de Cu cositorită. Dimensiunile STC-ului au fost de 8x8x1cm.

Contactul termic între STC și TEG și respectiv între TEG și suportul de Cu a CS a fost realizat cu pastă termoconductoare pe bază de argint cu conducția termică de $3.8\text{W/m}\cdot\text{K}$. Pentru un contact termic cât mai bun placa suport de Cu a fost prinsă de STC cu șuruburi. Sistemul de măsurare a caracteristicilor I-U și a temperaturilor este cel descris în § 3.5. Două canale ale sistemului au fost folosite pentru a măsura caracteristicile I-U ale CS și unul pentru măsurarea caracteristicilor I-U pentru TEG-uri. Temperatura CS, a suprafețelor de separație dintre TEG și suportul CS și respectiv TEG și STC și a apei la intrare și la ieșirea din STC au fost măsurate cu ajutorul a 12 termocuple.

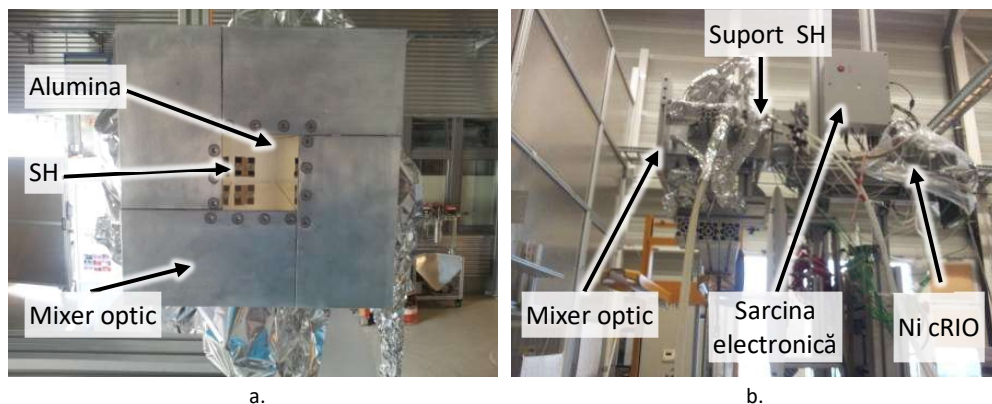


Fig. 69 Sistemul de caracterizare a SH în lumină concentrată [43]
a. Mixer optic; b. Vedere laterală a sistemului

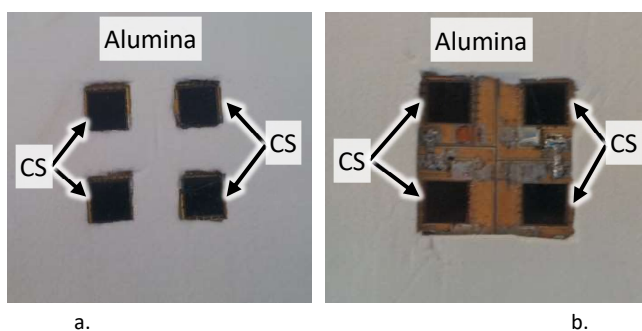


Fig. 70 Suprafața expusă radiației luminoase [43]
a. Doar CS expuse; b. CS și suprafața dintre CS expuse

Rezultatele obținute prin analiza datelor măsurate sunt sintetizate în Tabel 2. S-a observat faptul că în cazul utilizării configurației TEG2, datorită ariei mai mari de 1.6 ori decât în cazul configurației TEG1, eficiența CS a crescut cu $\sim 8\%$, crescând și puterea generată de TEG-uri și temperatura apei la ieșirea din STC. Diferența de putere generată de TEG-uri dintre configurațiile TEG1 și TEG2 a fost de 3.02 ori mai mare în cazul în care doar CS au fost expuse și de 2.09 ori mai mare în cazul în care și aria dintre CS a fost expusă în favoarea configurației TEG2. O altă concluzie importantă obținută în urma acestui studiu este că menținerea TEG-urilor cu sarcină între măsurători face ca temperatura pe CS să scadă, crescând eficiența acestora în detrimentul puterii generate de TEG care a scăzut de la 1.26W (fără sarcină) la 0.71W (cu sarcină).

Tabel 2 Puterea maximă și eficiențele componentelor SH [43]

Tip	Componente	P_{\max} [W]		$\eta\%$	
		30 sori	120 sori	30 sori	120 sori
TEG1	InGaP/InGaAs/Ge	1.5	6.12	25	25.5
	1 TEG 6cm/6cm/3.8 mm	0.013	0.29	0.012	0.067
	STC	-	-	5.8	7,5
TEG2	InGaP/InGaAs/Ge	1.61	6.6	26,8	27,5
	4 TEG-uri 4cm/4cm/3.3mm	0.05	0.8	0.025	0.11
	STC	-	-	7,9	9.1

Experiența acumulată în cadrul granturilor SFERA I și SFERA II a permis autorului dezvoltarea unui sistem de concentrare a luminii naturale utilizând lentile Fresnel plate. Astfel, în lucrarea [45] a fost prezentată proiectarea și utilizarea unui astfel de sistem pentru studierea SH.

Sistemele de concentrare a luminii utilizate în domeniul fotovoltaic sunt grupate în trei clase [46]:

1. Sisteme de concentrare scăzută de la 1 la 40 de sori,
2. Sisteme de concentrare medie de la 40 la 300 de sori,
3. Sisteme de concentrare ridicată de la 300 la 2000 de sori.

Pentru simplitatea implementării s-a ales soluția utilizării lentilelor Fresnel în detrimentul oglinzilor. Avantajul lentilelor Fresnel este dat de masa redusă și de asemenea de grosimea mică în comparație cu lentilele clasice. Lentila utilizată a avut dimensiunile de 33x33cm fiind realizată din plastic. Lentila a fost montată pe un sistem de urmărire a soarelui astfel încât lumina să cadă perpendicular pe lentilă. Sistemul de urmărire a soarelui a fost construit cu ajutorul unui sistem de poziționare cu două axe de tip pan/tilt controlat cu ajutorul plăcii NI myRIO utilizând drivere de motoare DC și pas cu pas. Pentru calculul poziției soarelui s-a folosit un algoritm matematic bazat pe coordonatele geografice longitudine și latitudine, unghiurile de declinație, zenit și azimut.

Sistemul de concentrare a luminii a fost folosit pentru caracterizarea unui SH de tip PV-TEG-STC descris la pagina 80. Deoarece suprafața de expunere necesară a fost de 4x4cm (pentru acoperirea CS) valoarea teoretică a concentrării luminii este de 68 de sori, însă valoarea reală a concentrării a fost de 56 de sori (eficiența sistemului de concentrare fiind de ~83%).

O caracteristică a sistemului proiectat este posibilitatea variației nivelului de concentrare prin variația distanței dintre lentila Fresnel și SH. Variația distanței s-a realizat cu ajutorul unui actuator liniar controlat cu ajutorul unui motor pas cu pas. Această caracteristică permite studierea SH la diverse nivele de iluminare dar și comportarea SH în regim tranzitoriu (simularea unei zile semi-înnorate).

Diagrama de control a sistemului de concentrare a luminii este dată în Fig. 71 a., iar a sistemului de caracterizare a SH este dată în Fig. 71 b. Sistemul complet de caracterizare a SH în lumină concentrată este prezentat în Fig. 72.

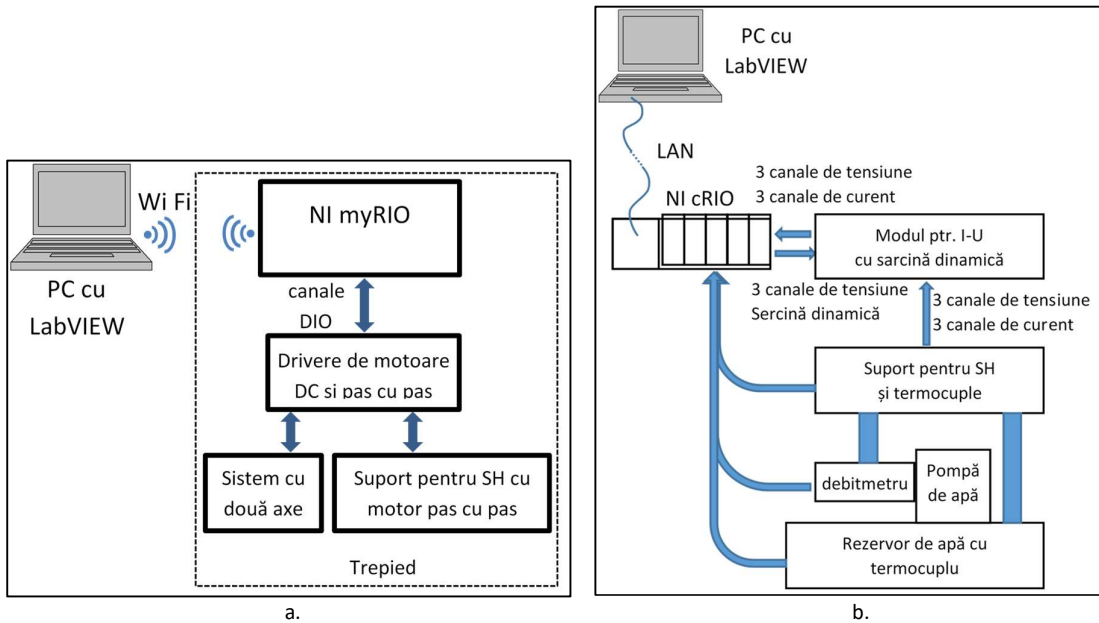


Fig. 71 a. Diagrama sistemului de control; b. Diagrama sistemului de caracterizare [45]

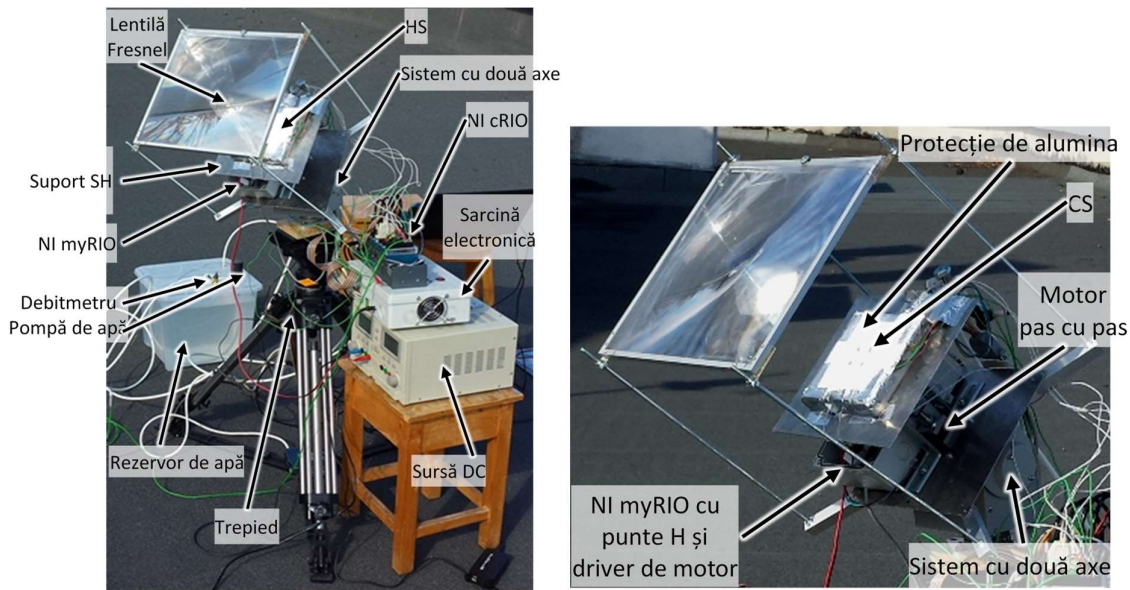


Fig. 72 Sistemul de concentrare a luminii pe baza lentilelor Fresnel [45]

În cel de-al patrulea grant SFERA II în echipa de cercetare au fost cooptați cercetători de la universitatea din Aalborg, Danemarca.

În cadrul acestui grant s-au studiat atât SH de tip PV-TEG, cât și TEG-uri de natură diferită în condiții de funcționare diferite.

Astfel, un prim rezultat a fost publicat în lucrarea [47] publicată în revista Energy. Studiul a fost dedicat studierii experimentale și numerice a unui SH de tip PV-TEG în lumină concentrată scăzută în domeniul 8-37 sori.

Diagrama sistemului de testare este prezentată în Fig. 73 a. SH a fost format dintr-o CS multijoncțiune InGaP/InGaAs/Ge și un TEG de tip Bi₂Te₃ cu dimensiunile de 8.7x8.7mm prezentat în Fig. 73 b.-d.

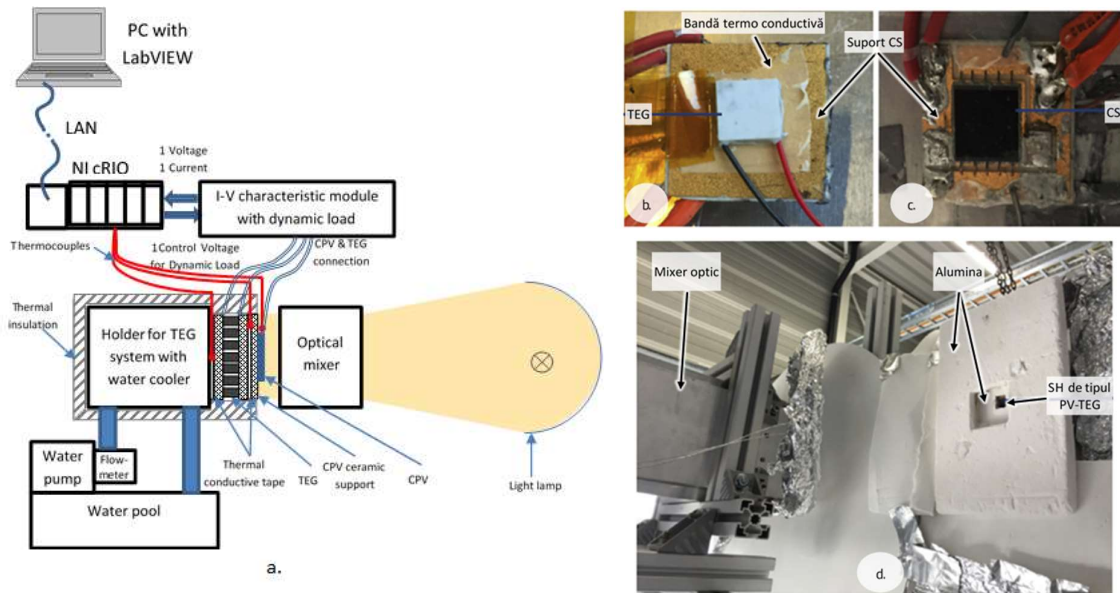


Fig. 73 SH de tip PV-TEG studiat [47]
a. Diagrama sistemului de caracterizare, b. SH vedere din spate, c. SH vedere din față, d. SH montat.

Abordarea numerică s-a bazat pe aplicația software MATLAB folosindu-se metoda volumului finit pentru rezolvarea ecuațiilor diferențiale corespunzătoare modelului unidimensional al transferului termic pentru componentele SH. În urma analizei s-a observat o scădere a eficienței CS de la 35.33% (39.21% - numeric) la 23.02% (24.38% - numeric) corespunzătoare nivelelor de concentrare de 8 sori și respectiv 37 sori. Această scădere a eficienței este datorită creșterii temperaturii CS care are influență mai mare decât creșterea nivelului de iluminare. În cazul TEG-ului s-a constatat o creștere a eficienței în funcție de nivelul de concentrare a luminii de la 0.62% (0.75%) pentru 8 sori până la 1.20% (1.28%) pentru 37 sori, ceea ce arată că contribuția TEG-ului asupra puterii generate de SH crește odată cu nivelul de concentrare a luminii.

Comportamentul tranzitoriu al SH PV-TEG a fost studiat atât experimental cât și numeric în lucrarea [48] publicată în revista Energy Conversion and Management. SH a fost supus unui șablon arbitrar al variației radiației luminoase în pași de durată prestabilită. Variația nivelului de iluminare a fost între 0 și 39 sori.

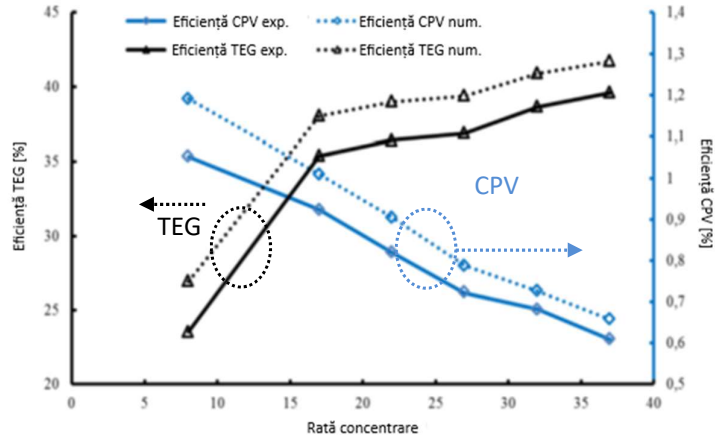


Fig. 74 Eficiența componentelor SH în funcție de nivelul concentrației luminii [47]

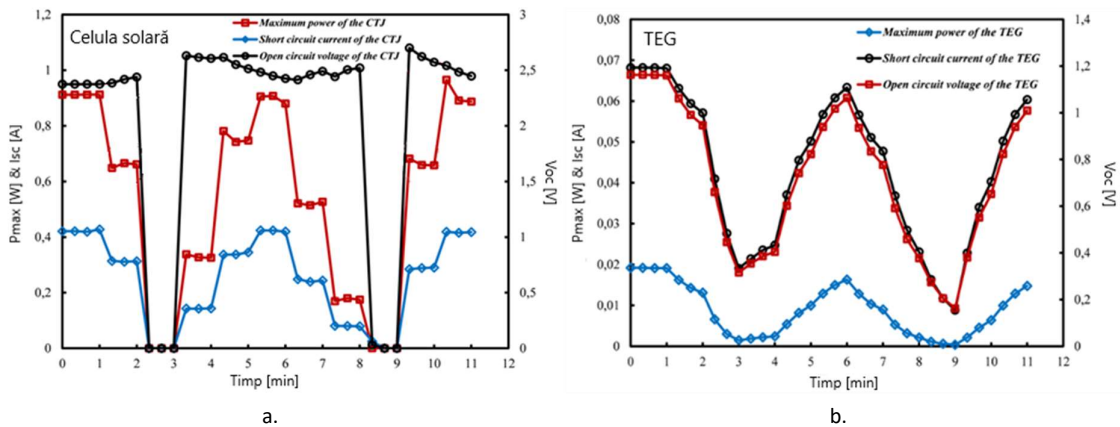


Fig. 75 Variația parametrilor Isc, Voc și Pmax [48]
a. pentru CS, b. pentru TEG

Așa cum se poate vedea în Fig. 75 a., răspunsul CS la variațiile radiației este foarte rapid în timp ce cel al TEG-ului este lent (Fig. 75 b.), urmărind de fapt curbele de variație a temperaturilor celor două fețe ale TEG-ului și nu nivelul radiației. Răspunsul lent al TEG-ului este explicat prin rezistența și capacitatea termică mare. Un avantaj notabil pentru SH, datorat răspunsului mai lent al TEG-ului este cel de stabilizator al puterii generate de către sistem. În vederea optimizării s-a luat în considerare rezistența termică a TEG-ului, ce se poate modifica prin variația lungimii termoelementului. Acest studiu s-a realizat doar numeric folosind aplicația software COMSOL Multiphysics arătând că raportul dintre puterea maximă generată de TEG și cea generată de CS în funcție de lungimea termoelementului crește de la 2.1% la 11.67% pentru o variație a lungimii de la 0.7mm la 2mm.

Performanțele generatoarelor termoelectrice de temperatură ridicată la diferite nivele de concentrare a luminii au fost studiate și prezentate în lucrarea [49] publicată în revista Energy Procedia. Pentru acest studiu s-a utilizat un Oxide TEG (folosit ca Solar TEG – STEG) comercial cu dimensiunile de 4.2x4.2cm, modelul CMO-25-42S fabricat din CaMnO_3 (Mn-113) pentru

materialele de tip n și $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_3$ (Co-349) pentru materialele de tip p. Acest tip de TEG este dedicat funcționării la temperaturi foarte mari de ordinul a 1000°C . În acest experiment nivelul de concentrare a luminii a fost de până la 338 sori. Diagrama sistemului de caracterizare utilizată a fost asemănătoare cu cea din Fig. 73 a. în care SH a fost înlocuit cu STEG-ul studiat. Suprafața STEG-ului expusă a fost acoperită cu un strat autoadeziv de grafit pentru a îmbunătăți absorbția radiației luminoase. Studiul s-a făcut cu și fără stratul de grafit. Datorită stratului de grafit, la 128 de sori temperatura pe suprafața expusă a STEG-ului a ajuns să fie aproximativ egală cu cea din cazul fără stratul de grafit dar la 292 de sori, ceea ce arată că eficiența STEG-ului poate fi mărită foarte mult prin depunerea de materiale cu absorbție ridicată pe suprafața expusă.

Caracteristicile I-U-P ale STEG-ului în cele două cazuri sunt prezentate în Fig. 76.

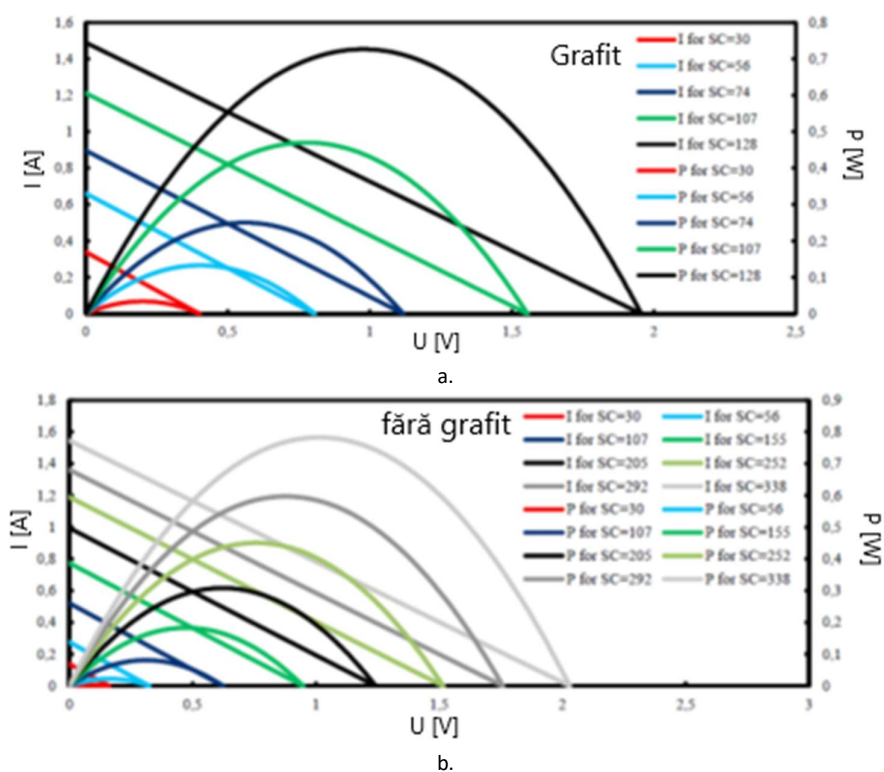


Fig. 76 Caracteristicile I-U-P ale STEG [49]
a. cu stratul de grafit, b. fără stratul de grafit

Comportamentul tranzitoriu al Oxide STEG a fost studiat și prezentat în lucrarea [50] publicată în revista Energy. Acest studiu este realizat pentru a înțelege comportamentul dinamic al STEG-urilor în cazul condițiilor meteo variabile (zile semi-înnorate). Studiul a avut două componente, una experimentală și una simulată.

Pentru studiul comportamentului STEG-lui s-a stabilit un șablon al variației radiației solare ce constă în diferite praguri cu durată constantă. Variațiile temperaturilor celor două fețe ale

STEG precum și ale parametrilor I_{sc} , V_{oc} și P_{max} au fost monitorizate și analizate (Fig. 77 și Fig. 78). Răspunsul STEG, atât din punct de vedere termic cât și electric, este puternic afectat de fluctuațiile rapide ale radiației solare. Timpul de răspuns al STEG pentru a intra în stare stabilă a fost găsit ca fiind 5 min cu și fără stratul de grafit.

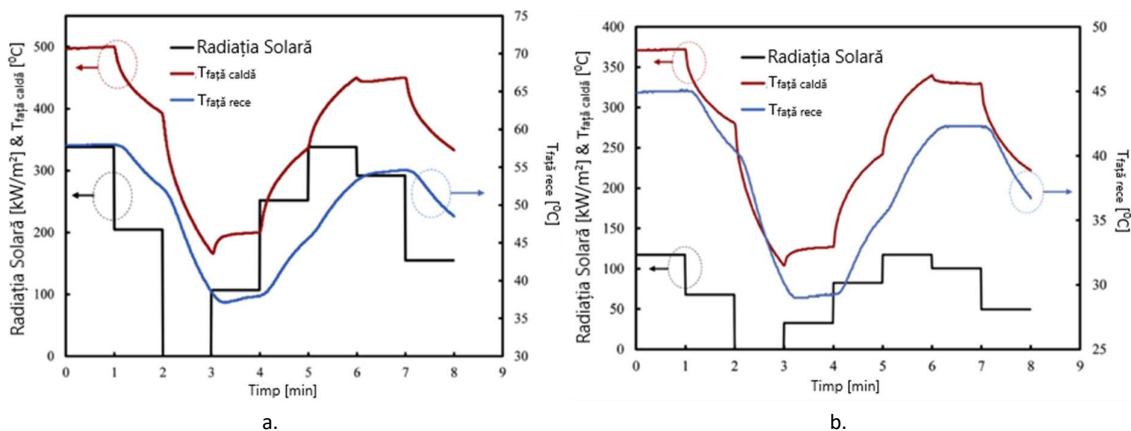


Fig. 77 Variația temperaturilor STEG [50]
a. fără stratul de grafit, b. cu stratul de grafit

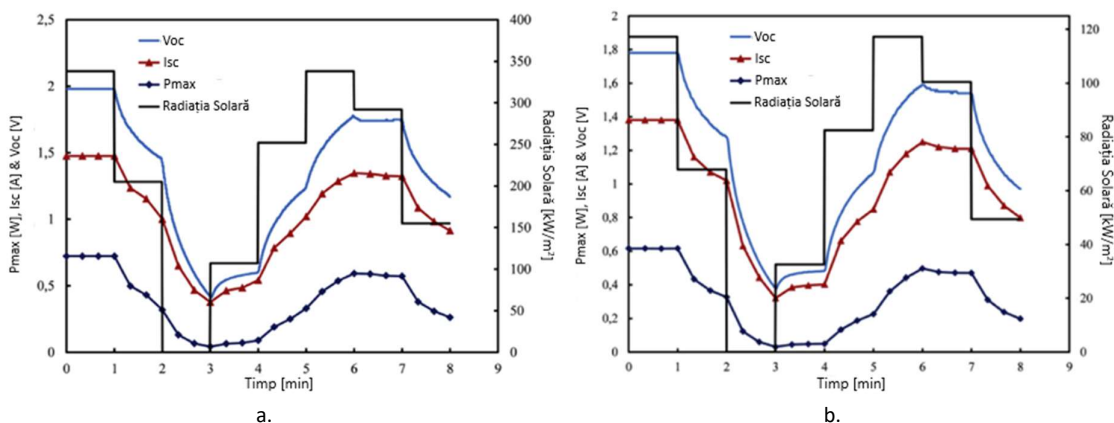


Fig. 78 Variația parametrilor I_{sc} , V_{oc} și P_{max} ai STEG [50]
a. fără stratul de grafit, b. cu stratul de grafit

3.7 Concluzii cap. 3

În acest capitol sunt prezentate o parte dintre realizările autorului în domeniul energiilor regenerabile acoperind teme de genul:

- măsurarea radiației solare, a albedoului diverselor suprafețe și generarea de modele de estimare a radiației solare locale;
- caracterizarea DC și AC a celulelor solare și dezvoltarea de echipamente electronice de caracterizare a lor;
- caracterizarea celulelor solare în lumină concentrată;
- studiul sistemelor hibride de genul PV-TEG și PV-TEG-STC în lumină naturală și concentrată.

Continuarea activităților în domeniul utilizării instrumentației virtuale pentru caracterizarea surselor de energie regenerabilă prin utilizarea sistemelor integrate, utilizarea conceptelor de Internet of Things, Cloud Computing și servicii web constituie o direcție de dezvoltare viitoare importantă și generatoare de posibile propuneri de proiecte de cercetare și de teme de doctorat. De asemenea, studiul sistemelor hibride în lumină naturală sau concentrată pe baza sistemelor dezvoltate și disponibile în laboratorul de cercetare din cadrul universității, cât și prin accesarea de resurse pe baza proiectelor europene de tip SFERA III (precum cele de la DLR Julich Germania – pentru care există o propunere de proiect aflată în evaluare) reprezintă o sursă de teme de cercetare proprie sau în colaborare cu viitorii doctoranzi.

Bibliografie cap. 3

- [1]. D. T. Cotfas, P. Cotfas, D. Ursutiu, C. Samoila “The implementation of a biaxial monitoring system for the maximum of the solar radiation” Symposium on Remote Engineering and Virtual Instrumentation REV2006, Maribor – Slovenia, 29-30 June, ISBN3-89958-194-6, 2006;
- [2]. D. T. Cotfas, P. A. Cotfas, P. Borza, D. Ursutiu, C. Samoila, “Wireless System for Monitoring the Solar Radiation”, Environmental Engineering and Management Journal, Vol.10, No. 8, 2011, pp. 1133-1137;
- [3]. C. H. Seaman, “Calibration of solar cells by the reference cell method—The spectral mismatch problem”, Solar Energy, 29(4), 1982, pp 291-298;
- [4]. D. J. Sailor, K. Resh D. Segura, “Field measurement of albedo for limited extent test surfaces”, Solar Energy, Vol. 80(5), 2006, pp. 589–599;
- [5]. B. Pinty, M. M.Verstraete, N. Gobron, F. Roveda, Y. Govaerts, J. V. Martonchik, D. J. Diner, R. A. Kahn, “Exploitation of surface albedo derived from the Meteosat data to characterize land surface changes”, International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), Sydney, 2001;
- [6]. W. Zhao, M. Tamura, H. Takahashi, “Atmospheric and spectral corrections for estimating surface albedo from satellite data using 6S code”, Remote Sensing of Environment, 76(2), 2001;
- [7]. P. Berdahl, S. E. Bretz, “Preliminary survey of the solar reflectance of cool roofing materials”, Energy and Buildings, 25(2), 1997;
- [8]. A. D. Matthias, A. Fimbres, E. E. Sano, D. F. Post, L. Accioly, A. K. Batchily, L. G. Ferreira, “Surface Roughness Effects on Soil Albedo”, Soil Science Society of America Journal 64(3) 2000;
- [9]. S. Liang, H. Fang, M. Chen, C. J. Shuey, C. Walthall, C. Daughtry, J. Morisette, C. Schaaf, A. Strahler, “Validating MODIS land surface reflectance and albedo products: methods and preliminary results”, Remote Sensing of Environment, 83(1-2), 2002;
- [10]. D. T. Cotfas, P. A. Cotfas, “The Wireless Albedometer”, Journal of Engineering Science and Technology Review 5 (4), 35 -37, 2012;

- [11]. G. Şerban, D. T. Cotfas, P. A. Cotfas, "Significant differences in crop albedo among romanian winter wheat cultivars", Romanian Agricultural Research, no. 28, 2011;
- [12]. G. Şerban, D. T. Cotfas, P. A. Cotfas, "Crop albedo measurements after anthesis reveal significant differences among romanian wheat cultivars", Romanian Agricultural Research, no. 29, 2012;
- [13]. D. T. Cotfas, P. A. Cotfas, Eleni Kaplani, Cornel Samoila, "Monthly average daily global and diffuse solar radiation based on sunshine duration and clearness index for Brasov, Romania", Journal of Renewable and Sustainable Energy , vol 6(5), 2014;
- [14]. D. T. Cotfas, P. A. Cotfas, S. Kaplanis, "Methods to determine the dc parameters of solar cells: A critical review", Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 28, 2013;
- [15]. D.T. Cotfas, P. Cotfas, S. Kaplanis, D. Ursutiu "Results on series and shunt resistances in a c-Si PV cell. Comparison using existing methods and a new one", Journal of Optoelectronics and Advanced Materials, Vol. 10, No. 11, p. 3124 – 3130, November 2008;
- [16]. D. T. Cotfas, P. A. Cotfas, "A Simple Method to Increase the Amount of Energy Produced by the Photovoltaic Panels", International Journal of Photoenergy, Vol. 2014;
- [17]. P. A. Cotfas, D.T. Cotfas, "Graphical System Design approach in photovoltaic energy laboratories", IEEE 21st International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME), Brasov, Romania, 2015;
- [18]. D.T. Cotfas, P.A. Cotfas, O.M. Machidon "Study of Temperature Coefficients for Parameters of Photovoltaic Cells", International Journal of Photoenergy, Vol. 2018;
- [19]. D. T. Cotfas, P. A. Cotfas, A. Caţaron, Using the genetic algorithm to determine the parameters of photovoltaic cells and panels, International Symposium on Electronics and Telecommunications (ISETC), 8-9 Nov 2018, Timisoara, Romania, 2018;
- [20]. P. A. Cotfas, D. T. Cotfas, C. Gerigan, "Simulated, Hands - on and Remote Laboratories for Studying the Solar Cells", ACEMP OPTIM ELECTROMOTION 2015 JOINT CONFERENCE, Side,- Turcia, 2015;
- [21]. D.T. Cotfas, P.A. Cotfas, D. Ursutiu, C. Samoila, "Current-Voltage Characteristic Raising Techniques for Solar Cells. Comparisons and Applications", proceedings Optim 2010, Braşov, Romania, 2010;
- [22]. S. Spataru, D. Sera, T. Kerekes, R. Teodorescu, P.A. Cotfas, D.T. Cotfas, "Experiment Based Teaching of Solar Cell Operation and Characterization Using the SolarLab Platform", 7th International Workshop on Teaching in Photovoltaics, Praga, Cehia, 2014;
- [23]. D. T. Cotfas, P. A. Cotfas, D. Ursutiu, C. Samoila, "RELab - virtual laboratory of the renewable energy", 10th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV), Sydney, 2013;

- [24]. P.A. Cotfas, D.T. Cotfas, C. Samoila, "Mobile virtual laboratory for renewable energy", 10th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV), Sydney, 2013;
- [25]. P.A. Cotfas, D.T. Cotfas, D. Ursutiu and C. Samoila, "Remote Laboratory in Photovoltaics", International Journal of Online Engineering (iJOE), vol 5, no. 3, pp.14-18, 2009;
- [26]. P.A. Cotfas, D. T. Cotfas, D. Ursutiu and C. Samoila, "SolarLab, a System for Solar Cells Study", International Conference Remote Engineering and Virtual Instrumentation REV 2009, 22-25 June, Bridgeport, 2009;
- [27]. P. A. Cotfas, D. T. Cotfas, D. Ursutiu, C. Samoila, "A New Remote Laboratory for the Photovoltaic Cells Study", International Conference Remote Engineering and Virtual Instrumentation REV2008, Dusseldorf, June, 2008;
- [28]. P.A.Cotfas, D.T.Cotfas, "Design and implementation of RElab system to study the solar and wind energy", Measurement, Vol. 93, Nov.2016;
- [29]. P. A. Cotfas, D. T. Cotfas, D. Ursutiu, C. Samoila, D. Iordache, "Chapter 3 New Tools in Hardware and Software Design Applied for Remote Photovoltaic Laboratory", Abul K.M. Azad, A.K.M., Auer, M., V. Judson Harward, V.J. "Internet Accessible Remote Laboratories: Scalable E-Learning Tools for Engineering and Science Disciplines", IGI Global, pp. 40-59, 2012;
- [30]. P. A. Cotfas, D.T. Cotfas, P.N. Borza. D. Sera, R. Teodorescu, "Solar Cell Capacitance Determination Based on an RLC Resonant Circuit", Energies, 11, 672, 2018;
- [31]. D. Floroian, L. Floroian, R. Rubin, D. Lieberman, P. Cotfas, D. T. Cotfas, D. Ursutiu, C. Samoila, "Measurements in Concentrated Sun Using a Remote Controlled Robot", International Journal of Online Engineering (iJOE), vol 9, 2013;
- [32]. D.T. Cotfas, L. Floroian, P.A. Cotfas, D. Floroian, R. Rubin, D. Lieberman, "The study of the photovoltaic cells parameters in concentrated sunlight", International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment OPTIM2014, Brasov, Romania, 2014;
- [33]. D.T. Cotfas, P.A Cotfas, D. Floroian, L. Floroian, M. Cernat, "Ageing of photovoltaic cells under Concentrated Light", IEEE Xplore - Intl Aegean Conference on Electrical Machines & Power Electronics (ACEMP), 2015 Intl Conference on Optimization of Electrical & Electronic Equipment (OPTIM) & 2015 Intl Symposium on Advanced Electromechanical Motion Systems (ELECTROMOTION), Side, Turkey, 2015;
- [34]. D.T. Cotfas, P.A. Cotfas, D.I. Floroian, L. Floroian, "Accelerated life test for photovoltaic cells using concentrated light", International Journal of Photoenergy Vol. 2016 (2016);
- [35]. Cotfas Daniel-Tudor, Cotfas Petru-Adrian, Floroian Dan-Ion, Floroian Laura, "Metodă și dispozitiv de testare accelerată a timpului de îmbătrânire a celulelor fotovoltaice – ARCL", Cerere de brevet, RO130952 (A0), 2016;
- [36]. N. Núñez, J. R.González, M. Vázquez, C. Algora, and P. Espinet, "Evaluation of the reliability of high concentrator GaAs solar cells by means of temperature accelerated

- aging tests,” *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, vol. 21, no. 5, pp. 1104–1113, 2013;
- [37]. P. A. Cotfas, D. T. Cotfas, O.M. Machidon, “Modelling and PSPICE simulation of a photovoltaic/thermoelectric system”, *IEEE 22nd International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME)*, 2016;
- [38]. S. Lineykin, S. Ben-Yaakov, “PSPICE-Compatible Equivalent Circuit of Thermoelectric Coolers”, *IEEE 36th Power Electronics Specialists Conference*, DOI: 10.1109/PESC.2005.1581688, 2005;
- [39]. H. L. Tsai, J. M. Lin, “Model Building and Simulation of Thermoelectric Module Using Matlab/Simulink”, *Journal of Electronic Materials*, 39, no. 9, 2105- 2111, 2010;
- [40]. K Górecki, P Górecki, K Paduch, “Modelling Solar Cells with Thermal Phenomena Taken into Account”, *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 494, 2014;
- [41]. D.T. Cotfas, P.A. Cotfas, O.M. Machidon, D. Ciobanu, “Investigation of the photovoltaic cell/ thermoelectric element hybrid system performance”, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol.133, 2016;
- [42]. D.T. Cotfas, P.A. Cotfas, D. Ciobanu, O.M. Machidon, “Characterization of Photovoltaic–Thermoelectric–Solar Collector Hybrid Systems in Natural Sunlight Conditions”, *Journal of Energy Engineering*, Vol. 143(6), 2017;
- [43]. Daniel T. Cotfas, Petru A. Cotfas, Laura Floroian, Dan I. Floroian, “Study of combined photovoltaic cell/thermoelectric element/solar collector in medium concentrated light”, *International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment (OPTIM)*, Brasov, Romania 747 – 752, 2017;
- [44]. Cotfas Daniel-Tudor, Cotfas Petru-Adrian, “Sistem hibrid PV/TEG/STC pentru încălzire a apei dintr-o piscină”, *Crere de brevet RO132214(A0)*, 2017;
- [45]. Cotfas, P.A., Cotfas, D.T., Gerigan, C., Machidon, O.M., “System design to study hybrid systems in concentrated light using Fresnel lens”, *International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment (OPTIM)*, Brasov, Romania, 753 – 758, 2017;
- [46]. P. Pérez-Higueras, E. Muñoz, G. Almonacid, and P. G. Vidal, “High concentrator photovoltaic efficiencies: Present status and forecast”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, pp. 1810-1815, 2011;
- [47]. S. Mahmoudinezhad, A. Rezaia, D.T. Cotfas, P.A. Cotfas, L.A. Rosendahl, “Experimental and numerical investigation of hybrid concentrated photovoltaic - Thermoelectric module under low solar concentration”, *Energy* 159, pp. 1123-1131, 2018;
- [48]. S. Mahmoudinezhad, S. Ahmadi Atouei, P.A. Cotfas, D.T. Cotfas, L.A. Rosendahl, A. Rezaia, “Experimental and numerical study on the transient behavior of multi-junction solar cell-thermoelectric generator hybrid system”, *Energy Conversion and Management*, Vol. 184, pp. 448-455, 2019;

- [49]. S. Mahmoudinezhad, Petru A. Cotfas, Daniel T. Cotfas, Alireza Rezaia, Lasse A. Rosendah, "Performance evaluation of a high-temperature thermoelectric generator under different solar concentrations", *Energy Procedia* 147, pp. 624–630, 2018;
- [50]. S. Mahmoudinezhad, A. Rezaia, D.T. Cotfas, P.A. Cotfas, L.A. Rosendahl, "Transient behavior of concentrated solar oxide thermoelectric generator", *Energy* 168, pp. 823-832, 2019;

4 Concluzii

Activitatea de cercetare a autorului a început în cadrul Catedrei de Fizică, fiind concentrată pe aplicarea instrumentației virtuale în domeniul testării nedestructive și cel al laboratoarelor controlate la distanță, continuând apoi în cadrul Departamentului de Electronică și Calculatoare unde preocupările privind caracterizarea surselor de energie regenerabilă au devenit prioritare.

În primul capitol al tezei au fost prezentate aplicații dezvoltate de autor pe baza instrumentației virtuale pentru diferite proiecte de cercetare în care a fost implicat autorul, precum și pentru câteva companii naționale dar și din străinătate. Capitolul al doilea prezintă o parte din rezultatele obținute de către autor în domeniul laboratoarelor controlate la distanță cu aplicații din fizică, electronică și studiul celulelor solare. Cel de-al treilea capitol este dedicat studiilor efectuate în domeniul energiilor regenerabile, în special studierea celulelor solare și a sistemelor hibride, atât în lumină naturală cât și în lumină concentrată.

Rezultatele obținute de autor pe parcursul activității de cercetare după susținerea tezei de doctorat pot fi sumarizate astfel:

- o carte și alte patru capitole de carte în edituri internaționale;
- două cărți și un îndrumar de laborator în edituri naționale;
- 60 de articole științifice publicate în reviste și conferințe internaționale indexate ISI sau BDI, dintre care:
 - o 19 în reviste indexate ISI;
 - o 23 în proceedings indexate ISI;
 - o 18 articole indexate BDI;
- 129 de citări în articole dintre care 93 în articole indexate ISI (reviste și proceedings);
- un proiect național și două cu terți (unul național și unul internațional) ca director sau responsabil de proiect;
- membru în echipele de cercetare în peste 30 de proiecte naționale, internaționale și cu terți, pe parcursul întregii activități;
- membru în asociațiile științifice:
 - o IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) - IEEE Education Society și IEEE Instrumentation and Measurement Society;
 - o International Association of Online Engineering;
 - o Societatea Română de Fizică;
 - o Creding - COALIȚIA ROMÂNĂ pentru educație în inginerie.
- Recenzor pentru diferite reviste precum Energies, Journal of Solar Energy Engineering, Bulgarian Chemical Communications și International Journal of Online Engineering (iJOE).

C. Planul de dezvoltare a carierei

Continuarea activității de cercetare și cea didactică reprezintă prioritatea în dezvoltarea viitoare a carierei profesionale. Înglobarea noilor concepte și tehnologii din domeniul IT de genul Internet of Things, Industrial Internet of Things și Cloud Computing în domeniul de activitate prin utilizarea instrumentației virtuale pentru implementarea lor reprezintă o direcție sigură de dezvoltare viitoare.

În cazul acceptării tezei de abilitare voi avea ca obiectiv descoperirea și implicarea atât a studenților cât și a altor persoane dornice și capabile să-și lărgescă și îmbunătățească cunoștințele științifice prin studii de doctorat. În acest sens voi disemina și suține abordarea proiectării grafice de sistem prin care se are în vedere pornirea de la o idee și transformarea acesteia în realitate, adică într-un produs finit. Din contactele pe care le-am avut cu companiile și prin intermediul absolvenților cu care am lucrat și care acum sunt angajați în diverse companii, am remarcat că o caracteristică importantă pe care trebuie să o aibă un viitor angajat este dorința și capacitatea de a duce o idee până la final. Prin abordarea menționată doresc să insuflu viitorilor doctoranzi acest mod de gândire și de acțiune. Selecția doctoranzilor se va face din rândul studenților cu care lucrez dar și din rândurile studenților străini prin intermediul proiectelor de tip Erasmus+, în momentul de față fiind coordonator Erasmus al Departamentului de Electronică și Calculatoare.

Activitățile de cercetare viitoare se vor baza pe experiența acumulată până în prezent în utilizarea instrumentației virtuale în domeniul laboratoarelor controlate la distanță și cel al energiilor regenerabile, dar se vor adapta și vor include noile tendințe impuse de piață și industrie. Astfel, direcțiile de cercetare care vor fi abordate și care vor reprezenta baza temelor de doctorat propuse sunt:

1. Dezvoltarea tehnicilor și soluțiilor de implementare a laboratoarelor controlate la distanță și adaptarea la noile tendințe de interconectare a dispozitivelor la scară largă prin conceptul de Internet of Things. Astfel, realizarea sau utilizarea de experimente la distanță va deveni un mod natural de existență a fiecăruia dintre noi. Trecerea de la mediul academic al laboratoarelor la distanță bazate pe conceptul de IoT spre cel industrial și implicit adaptarea la conceptul Industrial Internet of Things va permite extinderea colaborărilor cu mediul industrial generând noi proiecte de cercetare-dezvoltare.
2. Cercetări în domeniul energiilor regenerabile având în vedere următoarele subteme:
 - a. Dezvoltarea de noi metode de caracterizare și diagnosticare a surselor de energii regenerabile.
 - b. Îmbunătățirea performanțelor surselor de energii regenerabile prin dezvoltarea de sisteme hibride performante sau găsirea de noi sisteme hibride.

- c. Dezvoltarea de sisteme distribuite de măsurare a radiației solare de dimensiuni mici și autonome.
- d. Proiectarea și studierea de sisteme de “energy harvesting” dedicate alimentării sistemelor autonome de măsurare și caracterizare.

Lista temelor de cercetare prezentată mai sus reprezintă baza de pornire pentru activitățile imediat următoare, nefiind una exhaustivă, aceasta putând fi completată cu teme noi în funcție de strategia existentă la nivel de departament, de universitate sau național.

Dezvoltarea temelor de cercetare menționate se va putea materializa dacă se vor atinge următoarele obiective principale:

1. Creșterea impactului și a vizibilității autorului și implicit ale departamentului, ale facultății și universității – prin valorificarea rezultatelor cercetărilor, prin publicarea de articole în reviste și cărți în edituri recunoscute (reviste cu factor de impact mare cotate Q1 și Q2 – cel puțin un articol pe an), participarea la conferințe internaționale de prestigiu cotate ISI sau indexate în baze de date (publicarea a cel puțin două articole pe an) și implicarea în organizarea de evenimente științifice;
2. Atragerea de fonduri prin participarea la proiecte naționale, internaționale și cu terți – prin inițierea sau participarea la propuneri de proiecte cu colaboratori din țară și din străinătate;
3. Dezvoltarea unei echipe de cercetare în cadrul departamentului – prin atragerea de noi doctoranzi și studenți finanțați din proiectele de cercetare;
4. Lărgirea bazei materiale existente în prezent în laboratorul de cercetare prin dotare cu noi echipamente de ultimă generație. Dotarea actuală a laboratorului constă în platforme de măsurare și caracterizare de la National Instruments – NI cRIO cu module de intrare de curent, tensiune, temperatură, module DIO, module de ieșire de tensiune, două platforme NI ELVIS II, două plăci NI myDAQ, cinci plăci NI myRIO, patru plăci de achiziție de date (NI 6251, NI 6009), două sisteme Raspberry Pi 3 Model B+, diferite tipuri de plăci Arduino cu accesorii și peste 50 de senzori aferenți, lanț de fabricare pentru PCB-uri, simulator solar A4 LightLine clasa AAA, piranometre SPN1 și cu senzor fotovoltaic, sursă programabilă Keithley 1kW, stație meteo completă, anemometre, cameră de termoviziune Testo, osciloscop Agilent seria InfiniiVision 2000X, sistem de concentrare a luminii cu lentilă Fresnel, platforme RELab pentru NI ELVIS II și NI myDAQ cu software-ul aferent, sisteme de caracterizare a panourilor fotovoltaice, etc...
5. Consolidarea colaborărilor existente și dezvoltarea altora la nivel național și internațional - prin inițierea de parteneriate de tip Erasmus+, participarea la propuneri comune de proiecte sau organizarea de evenimente științifice. În prezent există o propunere de proiect în evaluare în cadrul programului SFERA III în colaborare cu o echipă de cercetare din cadrul Aalborg University din Danemarca.

Datorită specificului poziției de cadru didactic, activitatea de cercetare trebuie corelată cu cea didactică, motiv pentru care voi avea în vedere îmbunătățirea permanentă a actului de predare prin introducerea și adaptarea metodelor de predare și evaluare specifice materiei, programului de studiu dar și generației de studenți implicați. În același timp voi introduce în cursurile prezentate studenților, prin actualizări permanente, rezultatele obținute în activitatea de cercetare. În acest mod îi voi pune în contact cu ultimele noutăți specifice domeniului.

Obiectivele activității didactice avute în vedere pentru dezvoltarea carierei didactice a autorului sunt:

- Utilizarea metodelor moderne de educație bazate pe interactivitate, problematizare și aplicare practică;
- Perfecționarea metodelor de predare și evaluare prin participarea la mobilități Erasmus+ la universitățile partenere;
- Implementarea de simulări software, de demonstrații practice bazate pe sisteme electronice portabile sau pe accesarea laboratoarelor la distanță în cadrul activităților de predate în vederea creșterii atractivității cursurilor teoretice;
- Dezvoltarea sau actualizarea materialelor didactice bazate pe rezultatele cercetărilor efectuate sau a studiilor bibliografice din domeniu și prezentarea lor în format digital. În ultimii ani, la propunerea autorului au fost introduse în cadrul programului de studii de master Sisteme electronice și de comunicații integrate – SECI din cadrul facultății IESC cursurile de *Instrumentație Virtuală în sisteme integrate și Controlul la distanță al sistemelor*, iar în cadrul programului de studii de licență Tehnologii și sisteme de telecomunicații cursul de *Informatică Instrumentală*;
- Modernizarea continuă a lucrărilor de laborator prin utilizarea aplicațiilor software de simulare și a instrumentației virtuale bazată pe hardware electronic educațional de ultimă generație de genul NI ELVIS II, NI myDAQ, NI myRIO, Arduino sau Raspberry PI 3b+;
- Încurajarea și coordonarea studenților în efectuarea de mobilități Erasmus+ pentru dezvoltarea lor personală prin realizarea schimbului științific și cultural din cadrul universităților partenere;
- Implicarea studenților în activitățile de cercetare în vederea participării lor la manifestări și evenimente științifice și precum și la competiții studențești;
- Identificarea și atragerea studenților de la master către studiile doctorale în vederea formării lor ca specialiști de top în domeniul de activitate;
- Dezvoltarea colaborării cu mediul preuniversitar la nivel de gimnaziu și de liceu în vederea atragerii elevilor către domeniile de inginerie. Un exemplu în acest sens îl reprezintă colaborarea autorului cu Colegiul Național Dr. Ioan Meșotă Brașov în cadrul

proiectului *Learning by doing*, în calitate de consultant științific, prin care elevii de la gimnaziu și liceu au dezvoltat sisteme bazate pe panouri fotovoltaice.

Atât activitățile de cercetare cât și cele didactice se vor desfășura în cadrul Departamentului de Electronică și Calculatoare și al centrului de cercetare C13 “Sisteme Electronice Încorporate și Comunicații Avansate”, al Institutului de Cercetare al Universitatii Transilvania din Brașov, coordonat de Prof. Dr. Ing. Mihai IVANOVICI.

Prin atingerea obiectivelor propuse în planul de dezvoltare a carierei doresc să-mi construiesc o carieră profesională care să contribuie la creșterea impactului și vizibilității departamentului, facultății și universității la nivel național și internațional. Am toată convingerea ca voi găsi tot sprijinul necesar din partea colegilor din departament pentru atingerea obiectivelor propuse în cadrul acestei teze de abilitare.