

TEZA de ABILITARE

Sisteme de măsurare pentru rețele moderne de energie

[Measurements for emerging power systems]

-rezumat-

Mihaela Marilena Albu

București, 2016

Cuprinsul tezei

- I. Motivație**
- II. Rezultate importante în activitatea de cercetare**
- III. Servicii în folosul comunității profesionale și dezvoltarea carierei**
- IV. Predare și mentorat**

I. Motivație

Prezenta teză de abilitare se dorește un argument în favoarea implicării mele mai substanțiale în activitatea de cercetare și mentorat în cadrul programelor de doctorat în ingineria electrică, și reflectă modul de dezvoltare a carierei mele științifice (cercetare științifică, expertiză profesională și voluntariat) pe parcursul ultimilor 30 de ani.

Indicatori sintetici ai profilului de cercetător (15 Mai 2016):

ResearcherID.com [A-5538-2010]: h-index 5. Google Scholar, H-index 12 si i-10 index 15.

Publicații științifice: 6 cărți și capitole de carte, 15 îndrumare de laborator, 42 articole în reviste și volume ale conferințelor indexate ISI, 26 articole în publicații indexate în bazele de date internaționale (marea majoritate IEEEExplore), 9 articole în publicații internaționale (ne-indexate), 17 articole în publicații naționale (indexate CNCSIS B+), 21 articole în volumele unor conferințe internaționale (ne-indexate), 20 contribuții în volumele unor conferințe naționale (ne-indexate).

Citări: > 110 citări în publicații indexate ISI; > 90 citări în publicații indexate BDI

Recunoașterea prestigiului profesional: 113 recenzii pentru diverse **IEEE Transactions** (on Power Systems, on Power Delivery, on SmartGRid, on Sustainable Energy etc.); organizator (membru în comitetele tehnice sau științifice de program, al comitetelor de organizare) pentru 28 conferințe IEEE relevante pentru ingineria electrică, 10 alte evenimente internaționale. Prezentări invitate: 42 la evenimente internaționale, 16 la nivel național. În perioada 2008-2016 am fost aleasă membră a Comitetului Administrativ al Societății IEEE-Instrumentation and Measurement, în această calitate fiind vicepreședinte al comisiilor care asigură coordonarea societății (VP Membership, VP Technical Activities). În perioada 2012-2015 am fost editor pentru IEEE-TPWRD și IEEE-PES Letters. În mai 2016 am fost selectată ca **Distinguished Lecturer IEEE-IMS 2016-2019**.

Direcții de cercetare: după 1998 (susținerea tezei de doctorat la UPB, pe o temă de *protecții numerice de distanță*), activitatea profesională s-a axat pe știința măsurării și aplicațiile acesteia în ingineria electrică. Începând cu **2005** o serie de proiecte de cercetare au abordat problematica **micronețurilor la tensiune continuă** iar din **2008** direcția de cercetare principală a fost reprezentată de **sistemele de măsurare sincronizată** (utilizând unități de măsurare a fazorilor).

În prezent din sfera preocupărilor de cercetare fac parte:

- **Algoritmi și strategii de control în micronețelele la tensiune continuă și hibride (a.c.-d.c.);**
- **Sisteme de măsurare pe arii extinse (Wide Area Measurement systems) și măsurări sincronizate;**
- **Monitorizarea calității energiei electrice și algoritmi de control pentru noua infrastructură a rețelelor de distribuție a energiei electrice**
- **Soluții și tehnologii de contorizare a energiei (Smart metering);**

II. Rezultate importante în activitatea de cercetare

Temele de cercetare se pot grupa în patru domenii, toate din aria ingineriei electrice: într-o primă perioadă m-am axat pe **caracterizarea calității energiei electrice**, inclusiv aplicând algoritmi specifici de prelucrare de semnal, pe **identificarea și descrierea fenomenelor neliniare în electroenergetică**; **sisteme de măsurare distribuite** și interfațate de medii de calcul numeric (PC), **protecții** în electroenergetică, **labratoare virtuale** și măsurarea la distanță. De altfel, una dintre primele demonstrații online ale utilizării sistemelor distribuite de măsurare pentru caracterizarea calității energiei electrice a fost prin **webcast 13 februarie 2002**, UPB - Politecnico di Milano. (M. Albu, A. Ferrero, F. Mihai). O parte din aceste activități au fost finanțate prin granturi internaționale: *Tele-presence in education: A virtual laboratory for instrumentation in power systems*, Bilateral Co-operation România-Italia 2001-2004 și *Advanced educational technologies for automatic control education in Romanian Universities*, 2001-2003, Swiss National Science Foundation.

Studiile relative la **calitatea energiei electrice** s-au concentrat pe evidențierea impactului pe care algoritmi (în parte standardizați) de prelucrare a informației de măsurare îl au asupra indicatorilor de calitate. Una dintre lucrările cele mai citate - Mihaela M. Albu, G.T. Heydt, 2003, *On the Use of RMS Values in Power Quality Assessment*, IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 18, nr. 4, Oct. 2003, pp.1586-1588 – analizează efectul de filtrare al celor mai simpli algoritmi de măsurare (determinarea valorii efective). Recent, ca urmare a necesității corelării informației provenite de la sisteme de măsurare cu rate de raportare diferite și algoritmi nedocumentați de agregare a informației, am propus (împreună cu dr. Ana Maria Dumitrescu) o metodologie de estimare a incertitudinii definiționale, dependentă atât de modalitatea de compresie a datelor cât și de modelul fizic adoptat pentru transferul energiei în secțiunea de rețea considerată, cu scopul de a determina, în premieră, o așa-numită “clasă de exactitate” a sistemului de măsurare care include modalitatea de transmitere a datelor de măsurare într-un context definit (Ana-Maria Dumitrescu, Mihaela Albu, 2015, *Deriving Model Approximations in Emerging Distribution Grids*, Proc. of the ATEE 2015, the 9th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering, May 7-9, 2015, Bucharest, Romania, pp. 525-530, BDI IEEEExplore, DOI 10.1109/ATEE.2015.7133864, WOS:000368159800099).

Studiile privind definirea caracteristicilor asociate transferului de energie electrică într-o structură de rețea predefinită au abordat recent problematica transferului de energie **la tensiune continuă**, și în special **calitatea energiei electrice în microrețele la tensiune continuă și în cele hibride**. Microrețelele sunt soluții de mare noutate propuse pentru realizarea viitoarelor rețele inteligente de energie. La UPB, în cadrul MicroDERLab am realizat o platforma demonstrativă ca laborator complet echipat pentru studii microrețelilor la tensiune continuă (tensiune nominală 230V), cu scopul de a elabora algoritmi de control

și optimizare a microrețelelor, în contextul în care încă lipsesc modele numerice adecvate pentru elementele acestora. Una din primele lucrări care abordează caracteristicile sistemelor de măsurare pentru astfel de rețele și care propune și o metodologie de cuantificare a calității energiei în rețelele la tensiune continuă este: Mihaela Albu, Elias Kyriakides, G. Chicco, M. Popa, A. Nechifor, 2010, *Online Monitoring of the Power Transfer in a DC Test Grid*, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 59, Issue: 5, 2010, Page(s): 1104 – 1118

Impulsul pentru dezvoltarea soluțiilor de **alimentare la tensiune continuă** (structura de **microrețea**) l-a dat, în principal, dezvoltarea fără precedent a utilizării energiei electrice provenită din surse regenerabile (incluzând aici elementele de stocare, în marea majoritate acestea livrând energia la tensiune continuă) și modificările recente ale surselor de alimentare pentru majoritatea echipamentelor electrocasnice care pot opera mai eficient prin conectare directă la tensiune continuă (calculatoare, telefonie mobilă, în general echipamentele ICT, iluminat, aer condiționat etc.¹)

Pentru a urmări evoluția pe plan mondial a soluțiilor de implementare a microrețelelor, începând cu 2005 se organizează anual (sub coordonarea Berkley Laboratories), o serie de simpozioane -*Microgrids Symposium* – unde sunt prezentate realizările și proiectele dedicate microrețelelor. **Din 2012 fac parte din comitetul de organizare** (<http://microgrid-symposiums.org>); am fost invitată la **DOE Microgrid Workshop**, July 30-31, 2012, IIT Galvin Center for Electricity Innovation, Chicago, IL și din **2014 sunt membră a DC Energy Efficiency Committee, IEEE PES**. De asemenea, de la 1 iulie 2016 sunt gazda (în UPB) a bursierei **Marie Curie Fellowship** - Irina Ciornei – proiectul 708844 **DCNExtEve**, “LV DC microgrids for evolved energy communities”, 2016-2018.

O altă direcție de cercetare asociată microrețelelor (de data aceasta la tensiune alternativă) este cea a proiectării elementelor capabile de **emulare a inerției (masini sincrone virtuale)** în sistemele cu inerție scăzută, în principal ca urmare a interfațării transferului de energie prin convertoare statice. Studiul a fost facilitat de colaborarea echipei MicroDERLab în cadrul consorțiului proiectului **VSYN²** și care a rezultat, printre altele, într-o platformă de experimentare în timp real a funcționalităților sistemului VSG – atât în laboratorul UPB (platforma de prototipare rapidă de 5 kVA) cât și în rețeaua de distribuție Electrica S.A. (Cheia, 90 kVA VSG). Cu această ocazie am dezvoltat un sistem de alegere și evaluare (*Cost-benefit analysis*, CBA) a mediilor de stocare a energiei ³.

¹ Andres Felipe Martinez Palomino, *Study of Acceptability Curve of in-use appliances directly supplied by DC Microgrid*, MSc Thesis, Bucharest and Torino, February 2016

² Virtual synchronous machines for frequency stabilization in future grids with a significant share of decentralized generation, Project STREP FP6, coord. Energy research Centre of Netherland (ECN); UPB P.I. Mihaela Albu, 2007-2011, EC funding 385.000 euro

³ Mihaela Albu, Visscher, K.; Creanga, D.; Nechifor, A.; Golovanov, N., *Storage selection for DG applications containing virtual synchronous generators*, Proc. of IEEE PowerTech, Bucharest, June 28 2009-July 2, 2009

Tematica măsurărilor sincronizate a fost abordată ca urmare a disponibilității recente a echipamentelor de măsurare a fazorilor (*phasor measurement unit*, PMU), și a deschis două arii largi de cercetare: o primă temă, cu aplicabilitate directă, vizează realizarea de algoritmi de control pentru sistemele energetice, grație capacității de monitorizare pe arii extinse oferită de PMU-uri care au exactitate mare de măsurare directă a fazei și amplitudinii semnalelor de tensiune și curent; și o a doua, investigată în premieră, de redefinire a modelelor uzuale de transfer al energiei în rețelele electrice, grație ratelor de raportare mari (50-60-100-120 înregistrări pe secundă) și exactității mari de măsurare a frecvenței (eroare limită raportată de 1 ppm) ale acestor echipamente.

În acest context, s-a extins utilizarea PMU-urilor în rețelele active de distribuție, pentru care măsurările sincronizate pot pune în evidență corelații spațiale a căror interpretare poate ajuta proiectarea unor noi algoritmi de control.

Aplicabilitatea PMU-urilor (eroare limită compusă de măsurare a fazorilor de tensiune și de curent, *total vector error*, TVE 1%) și a microPMU-urilor (TVE 0.01%) în soluțiile moderne de control pe arii extinse s-a concretizat și în studiul performanțelor noilor algoritmi de estimare a stărilor (liniari sau hibridi), la care am contribuit în premieră prin cuantificarea efectului întregului lanț de măsurare asupra calității estimatorilor: Markos Asprou, Elias Kyriakides, Mihaela Albu, 2014, The Effect of Variable Weights in a WLS State Estimator Considering Instrument Transformer Uncertainties, IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement, Vol. 63, Issue: 6, 2014, Page(s): 1484 – 1495.

Rezultatele în acest domeniu au fost facilitate de dezvoltarea unui laborator dedicat sistemelor de măsurare sincronizată, constând din 7 PMU-uri mobile (5 unități 1133 Power Sentinel, 1 SEL 487E, 1 PQube3 cu microPMU) și un concentrator de date (cu aplicații satelit aferente) dezvoltat pe o platformă OpenPDC⁴. Activitatea de cercetare a fost finanțată prin mai multe granturi din planul național^{5,6}, proiecte bilaterale (3) sau câștigate prin competiții internaționale (3) - detalii pe www.microderlab.pub.ro.

Ca parte a **recunoașterii internaționale a rezultatelor în domeniul sistemelor de măsurare pentru rețelele moderne de energie**, am fost invitată să țin prelegeri tip *tutorial* la conferințele importante în domeniu (IEEE I2MTC) și, în plus, am fost nominalizată⁷ ca **Distinguish Lecturer 2016-2019 al grupului profesional de referință în domeniu** - IEEE- Instrumentation and measurement Society – cu prelegerea *High Reporting Rate Measurements for Smart[er] Grids*.

⁴ A. Nechifor, Mihaela Albu, R. Hair, V. Terzija, *A flexible platform for synchronized measurements, data aggregation and information retrieval*, Electric Power Systems Research, Elsevier, Vol. 120, March 2015, Page(s): 20-31, ISSN: 0378-7796

⁵ ActiveDGModel, Active Distribution Grids. Model Identification and Analysis Using Synchronised Measurements, Grant PN-II-ID-PCE-2011-3, P. I. M. Albu, 2012-2016

⁶ TAMPERE, Advanced measurement solutions and parameter estimation techniques for active distribution networks, Grant CNCISIS IDEI 1402, 2009-2011.

⁷ <http://iee-ims.org/education/distinguished-lecturers-program>

III. Servicii în folosul comunității profesionale și dezvoltarea carierei

Din anul 2000 particip activ în următoarele **organisme de standardizare:**

ASRO (Romanian Standards Association, www.asro.ro) - membru CT140 (corresp. CLC/TC 57 & CEI/TC 57, Power systems management and associated information exchange EMS-SCADA); CT167 (corresp. IEC/PC 118; IEC/SC 8A; IEC/TC 115; IEC/TC 8; CLC/SR 115; CLC/SR 118; CLC/TC 8X, System aspects of electrical energy supply); CT24; **IEEE-Standards Association- Membru Standards Subcommittee of the IEEE Smart Grid, 2013-;** membru **DC Energy Efficiency Committee, IEEE PES, 2014 -.**

Afilieră la organizații profesionale: **CIGRE**, 2009- Study Committee N B5-41: membră a WG: Investigation of possibilities to improve metering systems for billing purposes in substations, 2010-2014; member of the Study Committee SC6 2012-2016; member of WG B3.44: Substation servicing and supervision using mobile devices and smart sensing, 2015-; **VDE** (Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik e.V.), **Energietechnik (ETG) și Mess- und Automatisierungstechnik (GMA) 2010-;** **IEEE**, (M'98, SM'08); **IRE**, 2005-; **AGIR**, 2002 -.

În teza s-a subliniat și activitatea ca **expert independent** și **consultant extern** pentru programe de cercetare europene, (Horizon2020; CEF, FP7, FP6), metrologiei (EMRP) sau programe naționale (europene) de cercetare, majoritatea în domeniul ingineriei electrice. În plus, fac parte din *Advisory board* of FP7 - IDE4L project, 2013-2016; UNI-SET Steering Committee ('UNiversities in the SET-Plan'), FP7 project 2014-2017 și *Advisory Board* for the Engineering Education Report.

Calitatea de referent științific este în principal reflectată de funcția de Editor pentru IEEE Trans. on Power Delivery și IEEE Trans. on Power Systems dar și ca recenzor al cărților *Modern Measurements: Fundamentals and Applications by Alessandro Ferrero, Dario Petri, Paolo Carbone, and Marcantonio Catelani, Eds., Wiley, 2015;* *Active Power Line Conditioners to Increase Power Quality by Patricio Salmerón Revuelta, Ed., Elsevier, iulie 2015.*

Teza detaliază și **efortul organizatoric pentru evenimente științifice internaționale**, ca membru în Comitetele științifice de program și comitetele de organizare a peste 50 de evenimente științifice (majoritatea sponsorizate tehnic de IEEE).

În plus, am fost **recenzor** pentru: IEEE Transactions: *on Power Delivery* (2008-2016); *on Smart Grids* (2013-2016); *on Sustainable Energy* (2012-2014); *on Neural Networks and Learning Systems;* *on Instrumentation and Measurements* (2008-2016); *on Power Systems* (2013-2016); *on Energy Conversion* (2013-2014); *IEEE Systems Journal* (2013-2016); *Measurement* (Elsevier); *Buletinul științific UPB*, (2012-2016); și am pregătit mai mult de **200 de recenzii** pentru lucrările prezentate la conferințele științifice (majoritatea IEEE, 2009-2016).

IV. Activitatea de mentorat este ilustrată în teza de abilitare de recente premii obținute de studenții din echipa MicroDERLab pe care o coordonez:

- Ramona Huluba, *Digitization: the key to a modern society*, lucrare selectată pentru E-lectricity. The power sector goes digital, **Eurelectric Annual convention & conference**, Vilnius, 6-7 iunie 2016,
- Proctor al echipei “Powerhouse” din UPB (**Alexandru Nechifor**, Dan Spatarel și Mihai Gherghe) International Programming Competition **IEEEExtreme Challenge**, locul **3** in 2016, din peste 2000 echipe
- Dan Radu Călin, student masterand, premiul doi la competiția **Eurelectric Dinosaurs of the Past or Innovators of the Future? Designing Digital Strategies to Engage Domestic Customers**, **Eurelectric Annual convention & conf.** “The Consumer Powered Energy Transition”, Berlin, 1-2 iunie 2015
- Proctor al echipei “Powerhouse” din UPB (**Alexandru Nechifor**, Dan Spatarel și Mihai Gherghe) la **IEEEExtreme Challenge**, locul **8** in 2014, din peste 1600 echipe din 50 de țări
- Coordonator științific al Anei Maria Dumitrescu, **bursa postdoc** 2014-2015, UPB, Grant PERFORM 138963, Tehnici de control al parametrilor de calitate a energiei electrice în microrețele la joasă tensiune, POSDRU/159 /1.5/S/138963
- Proctor al echipei “Powerhouse” din UPB (**Alexandru Nechifor**, Dan Spatarel și Victor Luncasu) la **IEEEExtreme Challenge**, locul **6** in 2013, din peste 1600 echipe din 50 de țări
- Sergiu Ambrosi, bursier **Sciex Fellowship** la ALaRI (Switzerland), 2012-2013, P.I. Prof. M. Albu (U.P.B.) și Prof. Mariagiovanna Sami (Scientific Director, ALaRI)
- Mihai Călin, bursier **STSM scholarship IntelliCIS** la TuDelft, NL, martie 2013
- Mihai Călin, bursier **STSM scholarship IntelliCIS** la UoCyprus, Nicosia, mai-iulie 2012
- Valentin Boicea, bursier **STS scholarship IntelliCIS** la University of Lugano, Switzerland, 2012
- Proctor al echipei “Powerhouse” din UPB (**Alexandru Nechifor**, Dan Spatarel și Mihai Ciucu) Intern. Programming Competition **IEEEExtreme Challenge**, locul **4** in 2009, din 500 echipe din 40 țări
- studenții A. Nechifor, M. Popa și M. Marin au obținut **best undergraduate paper award** la Intern. Instrum. and Measurement Techn. Conference (I2MTC 09) in Singapore, pentru lucrarea (având ca autori numai studenți) “Online measurements and control of a laboratory scale DC grid” (mai 2009).

De menționat coordonarea activității de cercetare a studenților străini în stagii de cercetare la MicroDERLab (recent: **Andres Felipe Martinez Palomino**, **Politecnico di Torino**, *Dissertation on Study of Acceptability Curve of in-use appliances directly supplied by DC Microgrid*, Oct. 2015-Jan. 2016).

În teza de abilitare sunt enumerate și comitetele (16) de susținere a tezei de doctorat din care am făcut parte, inclusiv la universități din afara țării (Markos Asprou, Real-Time Monitoring of Power Systems Through a Hybrid State Estimator Using Synchronized Measurements, **University of Cyprus, 2015**; Marco Pau, State Estimation in Electrical Distribution systems, **University of Cagliari, 2015**; Marco Lixia, IEEE 1588 Synchronization in Distributed Meas. Systems for Electric Power Networks, Politecnico di Milano, **2012**).