

## CERCETĂRI PRIVIND MODELAREA, IDENTIFICAREA ȘI CONDUCEREA SISTEMELOR DE CONVERSIE A ENERGIILOR REGENERABILE

### Teză de doctorat – Rezumat

pentru obținerea titlului științific de doctor la

Universitatea Politehnică Timișoara

în domeniul de doctorat Ingineria Sistemelor

**autor ing. Cezara-Liliana Raț**

conducător științific Prof.univ.dr.ing. Octavian Proștean

luna Martie anul 2022

În Capitolul 1, INTRODUCERE, sunt prezentate obiectivele principale ale lucrării și modul de structurare al acesteia, funcție de problematica abordată. Poluarea mediului și dorința de a combate acest aspect al lumii actuale se află la baza motivației autoarei pentru alegerea temei. Oportunitatea cercetărilor efectuate este dată de utilizarea pe scară din ce în ce mai largă a surselor energetice regenerabile în vederea producerii de energie electrică *ecologică*, având ca efect reducerea gradului de poluare asupra mediului. Cu toate acestea, expansiunea acestor tipuri de surse energetice este limitată de costurile implicate și de performanțele mai scăzute comparativ cu sursele energetice consacrate. Astfel devine extrem de necesară dezvoltarea de noi soluții pentru creșterea competitivității acestor surse.

Principalele obiective propuse în lucrarea de față sunt:

- Efectuarea unei analize critice a sistemelor de conversie a energiilor regenerabile în energie electrică.
- Identificarea modelelor matematice ale principalelor elemente componente ale acestor sisteme de conversie a energiei în vederea realizării unor structuri de conducere.
- Efectuarea unei analize critice asupra conducerii sistemelor de conversie a energiilor regenerabile.
- Dezvoltarea unor structuri de conducere care urmăresc maximizarea puterii produse de aceste surse (PV, turbine eoliene, hidroturbine).
- Analiza modalităților de integrare a sistemelor de conversie a energiilor regenerabile în rețeaua energetică națională prin sisteme microgrid.

Teza reprezintă o sinteză a realizărilor autoarei pe parcursul programului său de cercetare doctorală, parte din contribuțiile sale fiind deja publicate, după cum urmează: 10 lucrări publicate în volumele unor conferințe indexate ISI și 7 lucrări publicate în volumele unor conferințe internaționale neindexate.

Lucrarea a fost structurată în 7 capitole, 204 de pagini, cuprinzând 145 de figuri, 35 tabele, și având ca sursă de inspirație 200 de referințe bibliografice.

Capitolul 2, STADIUL ACTUAL AL SISTEMELOR DE CONVERSIE A ENERGIILOR REGENERABILE ȘI INTEGRAREA ACESTORA ÎN REȚEAUA ENERGETICĂ NAȚIONALĂ, debutează cu un studiu bibliografic asupra valorificării surselor neconvenționale de energie, precum energia eoliană, energia hidrolică sau energia solară. Valorificarea energiei eoliene are loc prin intermediul turbinelor eoliene, ale căror caracteristici au fost prezentate în detaliu în acest capitol. S-a discutat și valorificarea energiei apelor,

remarcându-se în acest context turbinele hidrocinetice, un tip de hidroturbine care au cunoscut o dezvoltare deosebită în ultima vreme. Valorificarea energiei solare se realizează în principal prin intermediul panouri fotovoltaice sau prin concentratoare, în general fiind preferate panourile fotovoltaice deoarece transformă energia solară direct în energie electrică.

Capitolul continuă cu o prezentare a principalelor modalități de integrare a sistemelor de conversie a energie din surse regenerabile precum și a microgrid-urilor în cadrul rețelei energetice naționale. Se prezintă o analiză a stadiului actual în domeniul sistemelor de conversie a energiei din surse regenerabile în funcție de tipul sursei (vânt, soare, apă).

Se prezintă, de asemenea, o descriere a dezvoltărilor actuale în ceea ce privește arhitectura și funcționalitatea sistemelor microgrid, evidențiindu-se caracteristici precum: adaptabilitatea, flexibilitatea, scalabilitatea și eficiența.

Capitolul 3, MODELAREA COMPONENTELOR SISTEMELOR DE CONVERSIE A ENERGIILOR REGENERABILE, tratează problematica modelării principalelor elemente componente ale sistemelor de conversie a energiilor regenerabile, mai exact a turbinelor (turbinelor eoliene și turbine hidrocinetice), a generatoarelor (generatoare sincrone cu magneti permanenți) și a panourilor PV, dezvoltându-se modele pentru componentele menționate.

Comportamentul turbinelor este caracterizat atât prin modelul aerodinamic cât și prin modelul mecanic, ambele fiind necesare pentru a descrie regimurile statice și dinamice ale procesului de conversie a energiei vântului/apoi în energie de rotație. Modelul aerodinamic este mai complex necesitând un volum mai mare de calcule care practic nu se pot efectua în intervalul de timp necesar pentru implementarea unor algoritmi de conducere în timp real. Prin urmare, este necesară găsirea unor relații echivalente care să implice un număr cât mai mic de calcule, mai ușor de implementate pe sisteme de conducere cu DSP-uri sau cu microcontrolere. S-au dezvoltat relații de forma regresiilor polinomiale, pentru aproximarea coeficientului de cuplu sau de putere. Dintre relațiile obținute s-au ales cele pentru care indicatorii de calitate au fost cei mai buni.

Comportamentul PMSG este descris de asemenea prin utilizare modelului dinamic, respectiv a celui mecanic. Modelul mecanic este asemănător cu cel al turbinelor, deosebirea constând în includerea coeficientului de fricțiune, care este neglijat în cazul turbinelor. Modelul dinamic este obținut prin transformarea Park, din sistemul de referință abc în sistemul de referință  $dq0$ , obținându-se o formă mai simplă a modelului.

În cazul panourilor PV s-a utilizat o variantă extinsă a modelului cu o diodă și anume modelul cu cinci parametri, model cu performanțe bune, o precizie acceptabilă și o complexitate relativ scăzută. S-au dezvoltat și relații de aproximare a valorilor mărimilor specifice ale panoului, relații direct utilizabile în sinteza strategiilor de conducere.

Simulările au fost efectuate folosind mediile de simulare MATLAB/Simulink și LabVIEW. Simularea LabVIEW a fost utilizată la proiectarea părții software a unui emulator Hardware-In-the-Loop (HIL) de timp real, bazat pe echipamente de la NI, prezentat în detaliu în Capitolul 6.

Rezultatele obținute în cadrul acestui capitol servesc și ca bază pentru implementarea și testarea unor strategii de conducere a sistemelor de conversie a energie din surse regenerabile.

Capitolul 4, MODELARE ȘI SIMULAREA CONVERTOARELOR DC-DC, tratează problematica modelării și identificării a convertoarelor de curent continuu, anume Buck, Boost și Buck-Boost. S-au dezvoltat și sintetizat diferite modele pentru toate cele trei tipuri de convertoare. Modelele care oferă cele mai multe informații referitoare la comportarea convertoarelor sunt cele obținute prin modelarea clasică în spațiul stărilor, dar aceste modele (MM-ISI-SISO și MM-ISI-MIMO) pot fi însă neliniare (ambele tipuri de modele în cazul convertoarelor Boost și Buck-Boost sunt neliniare), fiind necesară liniarizarea acestora. În scopul simplificării procedurii de obținere a unui model liniar, autoarea a realizat o metodă care

implică analiza configurației în care este utilizat convertorul (convertor conectat la o sursă de energie regenerabilă DG – SSC și convertor conectat la o sarcină – LSC) pentru a obține modele liniare simplificate. O altă opțiune ar fi modelarea convertorului conectat la sarcină printr-o rezistență echivalentă, dar acest model nu mai păstrează dinamica esențială a sistemului, un astfel de model fiind mai potrivit pentru estimarea curentului livrat de generator. Modelele simplificate (MM-ISI-SSC și MM-ISI-LSC) propuse au avantajul că păstrează caracteristicile esențiale ale dinamicii sistemului. Aceste modele sunt direct utilizabile în implementarea și testarea unor strategii de conducere, afirmație demonstrată în Capitolul 5.

O altă problemă care poate să apară este insuficiența cunoaștere a parametrilor componentelor convertorului (de exemplu, valoarea rezistenței bobinei  $R_L$  sau a condensatorului  $R_C$  nu sunt furnizate de regulă de către producători). Soluția o reprezintă identificarea experimentală a acestora. S-au încercat două metode de identificare a modelului convertorului Buck, anume metoda grafo-analitică și o metodă de regresie originală, bazată pe expresia analitică a răspunsului indicial, utilizând CFtool din Matlab. Metoda originală a fost validată prin încercări de laborator efectuate asupra unui convertor de tip Buck și prin comparație cu metoda grafo-analitică.

Ambele metode pot fi utilizate doar în condițiile în care rezistența  $R_C$  este neglijabilă. În caz contrar, modelul analitic al convertorului este prea complex pentru a fi identificat prin oricare dintre cele două metode, dar ipoteza acceptată în general în literatură este că  $R_C$  are o valoare destul de mică încât să poată fi neglijată. S-a optat pentru identificarea modelelor prin metoda de regresie deoarece este mai precisă și mai eficientă. Însă, parametrii modelelor identificate (funcțiile de transfer) depind de valoarea rezistenței de sarcină. Cu scopul obținerii unui model general care să poată fi utilizat indiferent de valoarea sarcinii, s-au determinat prin metode de regresie dependențele parametrilor modelului  $\alpha$  și  $\omega$ , identificați în pasul anterior, de valoarea sarcinii. Cu scopul ca modelele identificate să fie mai convenabile în sinteza algoritmilor de conducere, s-au căutat doar funcții de regresie cu grad de complexitate mai scăzut și, anume funcții de putere și exponențiale cu unu sau doi termeni și funcții polinomiale cu ordinul mai mic sau egal cu 5. În aceste condiții, nu s-au obținut rezultate satisfăcătoare pentru funcția de regresie  $\omega(R_S)$ . Însă, deoarece funcția de transfer poate fi rescrisă în funcție de  $\xi$  și  $\omega_n$ , s-a optat pentru determinarea dependențelor acestor parametri de  $R_S$ . Valorile indicatorilor de calitate obținute pentru  $\xi(R_S)$  și  $\omega_n(R_S)$  au fost satisfăcătoare.

În cadrul Capitolului 5, CONDUCEREA SISTEMELOR DE CONVERSIE A ENERGIILOR REGENERABILE, s-a realizat proiectarea, implementarea și validarea unor structuri de conducere bazate pe urmărirea obținerii unui maxim de putere (MPPT). Principalul obiectiv urmărit în cadrul strategiilor de conducere cu urmărirea punctului de putere maximă (MPPT - Maximum Power Point Tracking) este obținerea puterii maxime în orice regim de funcționare. Astfel se obține creșterea randamentului sistemului de conversie a energiei regenerabile simultan cu menținerea calității energiei electrice.

Strategiile de conducere cu urmărirea extragerii maximului de putere implică în general o structură de conducere cu două nivele: la nivelul ierarhic inferior se reglează mărimile de bază ale convertorului (tensiunea de ieșire, curentul de ieșire sau curentul de intrare), iar la nivelul ierarhic superior funcționează algoritmul MPPT care furnizează prescrieri pentru structura de reglare de la nivelul ierarhic inferior (referință de tensiune sau de curent). Există și excepții de la această regulă: algoritmi MPPT care nu necesită existența unui regulator de nivel inferior, algoritmi furnizând direct valoarea factorului de umplere pentru convertor. Acești algoritmi sunt bazați, în general, pe metodele clasice online precum: metoda micilor perturbații, metoda conductanței incrementale, etc.

Prima parte a acestui capitol este dedicată conducerii convertoarelor. Modul de obținere a algoritmilor de conducere a convertoarelor Buck și Boost a fost mult simplificat prin utilizarea modelelor simplificate bazate pe configurația în care aceștia sunt utilizați în cadrul sistemului

energetic (SSC - 4.3.52 și LSC – 4.3.67, 4.3.78), dezvoltate de autoare în Capitolul 4. Se observă diferențe mari între structurile de conducere necesare atunci când se schimbă configurația: în cazul convertorului conectat la sarcină (LSC) se utilizează reglarea după stare, iar în cazul convertorului conectat la sursă (SSC) se utilizează reglarea după ieșire. Aceste strategii de conducere au fost selectate în baza informațiilor obținute din modelele simplificate ale convertoarelor. Sisteme de conducere obținute constituind o bază pentru implementarea strategiilor MPPT.

A doua parte a acestui capitol este dedicată conducerii de tip MPPT a panourilor PV și a turbinelor (eoliene și hidrocinetice).

Pentru panourile PV, s-au sintetizat trei algoritmi de tip MPPT originali: unul bazat pe tabel de căutare (L), unul de tip P&O cu perturbație variabilă bazat pe logică fuzzy (FL) și unul bazat pe regresie polinomială (R). Algoritmul L este bazat pe o metodă clasică offline, algoritmul FL este bazat pe o metodă hibridă P&O-Logică Fuzzy, iar algoritmul R este bazat pe o metodă de optimizare. Algoritmii au fost implementați în cadrul unui sistem de conversie a energiei fotovoltaice format dintr-un panou PV, un convertor Buck-Boost și o sarcină rezistivă. Performanțele celor trei algoritmi au fost analizate prin comparație cu un algoritm clasic de tip P&O cu perturbație constantă. Aceste metode au fost alese datorită faptului că au costuri de implementare accesibile.

Prin prisma rezultatelor obținute în urma comparației s-au analizat performanțele metodelor MPPT hibride comparativ cu metodele clasice:

- metodele hibride au potențialul de a găsi tensiunea corespunzătoare MPP într-un timp mai scurt decât metodele online, dar într-un timp mai îndelungat decât metodele offline,
- metodele hibride pot asigura o precizie mai bună decât metodele offline, dar nu ar elimina oscilațiile în jurul MPP,
- metodele hibride prezintă costuri de implementare mai ridicate decât cele ale metodelor individuale.

Metodele hibride reunesc caracteristicile metodelor online și offline, dar utilizarea lor pe scara largă este limitată de costurile mari de implementare.

În cazul turbinelor, algoritmii MPPT pot fi clasificați în funcție de regiunea de operare în trei categorii:

- Algoritmi care funcționează în regiunea 2, numită și regiunea de încărcare parțială, unde viteza vântului este sub valoarea nominală, obiectivul fiind maximizarea puterii de ieșire a turbinei.
- Algoritmi care funcționează în regiunea 3, unde viteza vântului este mai mare decât valoarea nominală, astfel încât trebuie să se limiteze puterea captată pentru a asigura funcționarea în condiții de siguranță a turbinei.
- Algoritmi hibridi, care utilizează o combinație a tehnicilor anterior menționate.

S-a dezvoltat un algoritm MPPT pentru reglarea unghiului de atac al palelor unei turbine hidrocinetice utilizând logica fuzzy. Acest algoritm funcționează în regiunea 3, în care conducerea constituie practic o protecție la supraturație, fiind necesară totodată existența unei structuri de conducere care să funcționeze în regiunea 2.

Capitolul 6, INTEGRAREA SURSELOR REGENERABILE DE ENERGIE ÎN SISTEME ENERGETICE, abordează problematica conectării sistemelor de conversie a energiei provenite din surse regenerabile la un rețeaua electrică națională. Soluțiile au fost implementate pe stand-uri experimentale realizate în cadrul unui laborator microgrid (la UPT).

Pentru a emula funcționarea unei turbine eoliene în condiții de laborator s-a realizat un stand experimental care constituie emulatorul HIL. Utilizarea unui emulator ca turbină este o soluție satisfăcătoare, avantajele fiind:

- flexibilitate: se pot testa o multitudine de turbine eoliene fără investiții în tunele aerodinamice și turbine reale, ceea ce duce la posibilitatea realizării rapide a prototipurilor

pentru sisteme WECS;

- universalitatea: posibilitatea testării diferitelor sisteme de control, convertoare de putere, elemente de stocare a energiei, sarcini electrice, etc.;

- generalitatea: utilizarea structurii emulatorului poate fi extinsă și pentru alte sisteme de conversie a energiilor (hidro, curenți marini, valuri marine, etc.).

Limitările emulatorului HIL sunt legate de limitările echipamentelor fizice, anume emulatorul poate fi utilizat pentru turbine de puteri diferite, dar este necesară adaptarea la puterea motorului de antrenare. O altă problemă ar fi eficiența relativ scăzută a sistemului de conversie. Acest fapt se datorează algoritmului MPPT încorporat în inverter care nu este particularizat pentru modelul de turbină cu care funcționează. Prin urmare, pentru a se putea testa diverse turbine în condiții de funcționare optime, este necesară actualizarea algoritmului MPPT de fiecare dată când se schimbă modelul turbinei, operație consumatoare de timp și resurse. Acest emulator constituie contribuția autoarei la laboratorul microgrid în care este încorporat.

Laboratorul reconfigurabil microgrid încorporează două tipuri de surse de energie regenerabilă (panouri PV și emulatorul HIL pentru turbine eoliene), un sistem de stocare format din supercapacitori și baterii, două magistrale DC, precum și o conexiune cu rețeaua energetică națională. Sunt prezentate în detaliu componența, arhitectura, funcționalitatea și conducerea microgrid-ului DC implementat.

Capitolul 7, CONCLUZII FINALE ȘI CONTRIBUȚII. PERSPECTIVE DE DEZVOLTARE, evidențiază concluziile tezei, contribuțiile originale ale autoarei și posibilele direcții de cercetare viitoare. Rezultatele acestei teze constă în următoarele contribuții originale:

- Realizarea unor analize comparative între rezultatele simulării turbinei eoliene, turbinei hidrocinetice și generatorului PMSG în Matlab/Simulink și respectiv LabVIEW;
- Determinarea prin metode de regresie a coeficientului de putere a turbinei hidrocinetice HKT;
- Dezvoltarea unui model de panou PV;
- Determinarea unei relații de estimare a tensiunii la MPP în funcție de temperatură la iradiere constantă;
- Determinarea unei relații de estimare a tensiunii în funcție de iradiere la MPP la temperatură constantă;
- Determinarea unei relații de estimare a puterii maxime în funcție de iradiere la temperatură constantă;
- Elaborarea unei analize critice a modelelor convertoarelor în comutație (Buck, Boost și Buck-Boost) existente în literatură, cu evidențierea particularităților esențiale ale acestora;
- Realizarea unei clasificări a convertoarelor în funcție de configurația în care sunt utilizate în cadrul unui microgrid DC;
- Dezvoltarea unor modele liniare simplificate (de ordinul 1) pentru convertoarele Boost și Buck-Boost, direct utilizabile în sinteza strategiilor de conducere.
- Dezvoltarea unei metode originale de identificare a unui ET-PT2 care se bazează pe aproximarea răspunsului indicial determinat experimental printr-o funcție de regresie și aplicarea metodei la identificarea modelului convertorului Buck;
- Realizarea unei analize comparative între metoda de regresie propusă și metoda grafo-analitică;
- Determinarea prin metode de regresie a dependențelor dintre parametrii identificați ai modelului ( $\alpha$ ,  $\omega$ ,  $\xi$  și  $\omega_n$ ) și valoarea sarcinii, precum și a unui

- model a convertorului parametrizat după sarcină;
- Elaborarea și testarea unor structuri de conducere pentru convertoarele Buck și Boost în funcție de configurația în care convertoarele pot fi utilizate în cadrul unui microgrid DC;
- Elaborarea și testarea unor algoritmi de control de tip MPPT pentru PV care utilizează metode de regresie, logică fuzzy și tabele de căutare;
- Realizarea unei analize comparative între algoritmi MPPT propuși și un algoritm P&O standard;
- Realizarea unei analize critice comparative a metodelor MPPT pentru WECS;
- Elaborarea și testarea unui algoritm de control a unghiului la pale pentru HKT;
- Implementarea părții software a unui emulator Hardware-in-the-Loop;
- Determinarea unor date experimentale referitoare la funcționarea unui microgrid cu două surse regenerabile (turbina eoliană și PV), având control descentralizat;
- Implementarea unei aplicații de achiziție a datelor pentru WECS1 bazat pe tehnica MVC în mediul de programare LabVIEW;
- Implementarea unor aplicații de monitorizare a WECS1 la distanță utilizând două tipuri de tehnologii (Remote Panels și RFC);
- Utilizarea tehnologiei ActiveX pentru monitorizare video la distanță.

Problemele prezentate, precum și rezultatele obținute în urma soluționării lor, conferă prezentei lucrări un caracter de aplicabilitate practică, deschizând noi perspective ale cercetărilor în domeniul conversiei energiilor din surse regenerabile.

#### Bibliografie selectivă

1. [Bha 2020] - Bhattacharyya, S., Samanta, S., & Mishra, S. (2020). Steady Output and Fast Tracking MPPT (SOFT-MPPT) for P&O and InC Algorithms. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 12(1), 293-302.
2. [Bol 2020] - Bollipo, R. B., Mikkili, S., & Bonthagorla, P. K. (2020). Hybrid, optimal, intelligent and classical PV MPPT techniques: A review. *CSEE Journal of Power and Energy Systems*, 7(1), 9-33.
3. [Chi 2019] - Chinnappan, R., Logamani, P., & Ramasubbu, R. (2019). Fixed frequency integral sliding-mode current-controlled MPPT boost converter for two-stage PV generation system. *IET Circuits, Devices & Systems*, 13(6), 793-805.
4. [Fil 2018] - Filip, I., Dragan, F., Szeidert, I., & **Rat, C.** (2018, September). Design of an extended self-tuning adaptive controller. In *International Workshop Soft Computing Applications* (pp. 392-402). Springer, Cham.
5. [Fir 2020] - Firdaus, A. A., Yunardi, R. T., Agustin, E. I., Nahdliyah, S. D., & Nugroho, T. A. (2020). An improved control for MPPT based on FL-PSO to minimize oscillation in photovoltaic system. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems*, 11(2), 1082.
6. [Pan 2015] - Panoiu, M., **Rat, C. L.**, & Panoiu, C. (2015, May). Video streaming technologies using ActiveX and LabVIEW. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 85, No. 1, p. 012023). IOP Publishing.
7. [Pat 2017] - C. Patrascu, **C. Rat**, D. Hulea, D. Vitan and N. Muntean, "Mixed PV-wind small power microgrid," 2017 International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment (OPTIM) & 2017 Intl Aegean Conference on Electrical Machines and Power Electronics (ACEMP), 2017, pp. 699-704, doi: 10.1109/OPTIM.2017.7975050.
8. [**Rat 2018a**] - **Rat, C. L.**, Prostean, O., Filip, I., & Vasar, C. (2018, September). Remote Wind Energy Conversion System. In *International Workshop Soft Computing Applications* (pp. 273-282). Springer, Cham.

9. [**Rat 2018b**] – **Rat C. L.** (2018), Design of a SCADA system for a Traffic Turbine, ANNALS of Faculty Engineering Hunedoara – International Journal of Engineering, Tome XVI [2018], Fascicule 4 [November].
10. [**Rat 2018c**] - **Rat, C. L.**, & Panoiu, M. (2018, January). Wind turbine remote control using Android devices. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 294, No. 1, p. 012070). IOP Publishing.
11. [**Rat 2018d**] - **Rat, C. L.**, Prostean, O., Filip, I., & Vasar, C. (2018, June). The Modeling and Simulation of an Archimedes Spiral Turbine for Use in a Hydrokinetic Energy Conversion System. In 2018 IEEE 22nd International Conference on Intelligent Engineering Systems (INES) (pp. 000245-000248). IEEE.
12. [**Rat 2018e**] - **Rat, C.**, Vasar, C., Gana, O., & Prostean, O. (2018). Microgrid supply management. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 238, 46-52.
13. [**Rat 2018f**] - **Rat, C. L.**, Prostean, O., & Filip, I. (2018). Hardware-in-the-Loop emulator for a hydrokinetic turbine. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 294, No. 1, p. 012071). IOP Publishing.
14. [**Rat 2019**] - **C. Rat**, O. Prostean and I. Filip, "Power Control of a Variable-Pitch Hydrokinetic Turbine," 2019 IEEE 13th International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics (SACI), 2019, pp. 167-172, doi: 10.1109/SACI46893.2019.9111515.
15. [**Rat 2021a**] - **Rat C.**, Prostean O., "The Impact Of Communication Network On Grid Management", 37th IBIMA International Conference, Cordoba, Spain, 2021, ISBN: 978-0-9998551-6-4.
16. [**Rat 2021b**] - **Rat C.**, "WECS Simulator for A Virtual Microgrid Laboratory", 37th IBIMA International Conference, Cordoba, Spain, 2021, ISBN: 978-0-9998551-6-4.
17. [**Rat 2021c**] - **Rat, C.L.**, Ichim-Burlacu, C.I., Panoiu, C. Modeling the synchronous permanent magnet generator with RLC load, INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES (ICAS2021), May 12-14, 2021, Hunedoara, Romania.
18. [**Rat 2021d**] - **Rat, C.L.**, Ichim-Burlacu, C.I., Panoiu, M. The impact of communication on microgrid control, INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES (ICAS2021), May 12-14, 2021, Hunedoara, Romania.
19. [Reh 2019] - Rehmani, M. H., Davy, A., Jennings, B., & Assi, C. (2019). Software Defined Networks-Based Smart Grid Communication: A Comprehensive Survey. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 21(3), 2637-2670.
20. [Tch 2020] - Tchouani Njomo, A. F., Kenne, G., Douanla, R. M., & Sonfack, L. L. (2020). A Modified ESC Algorithm for MPPT Applied to a Photovoltaic System under Varying Environmental Conditions. International Journal of Photoenergy, 2020.
21. [Tha 2019] - Thakur, R. N., & Pandey, U. S. (2019). The Role of Model-View Controller in Object Oriented Software Development. Nepal Journal of Multidisciplinary Research, 2(2), 1-6.
22. [Vas 2018] - Vasar, C., **Rat, C. L.**, & Prostean, O. (2018). Experimental model of a wind energy conversion system. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 294, No. 1, p. 012081). IOP Publishing.