

## Estimacija parametara solarne ćelije primjenom PSO algoritma

DRAŽEN M. JOVANOVIĆ, Crnogorski elektrodistributivni sistem, d.o.o. Podgorica  
Crna Gora

MARTIN P. ČALASAN, Univerzitet Crne Gore,  
Elektrotehnički fakultet, Podgorica, Crna Gora

MILOVAN V. RADULOVIĆ, Univerzitet Crne Gore,  
Elektrotehnički fakultet, Podgorica, Crna Gora

Stručni rad

UDC: 621.311.243

DOI: 10.5937/tehnika1901091J

*U ovom radu je razmotrena upotreba Particle Swarm Optimization algoritma u estimaciji parametara solarne ćelije. Estimirane su vrijednosti redne i paralelne otpornosti, vrijednost struje saturacije diode i vrijednost fotostruje. Estimirani parametri, dobijeni pomoću opisanog metoda, su upoređeni sa parametrima dobijenim pomoću iterativnog metoda poznatog iz literature. Tačnost estimacije parametara je provjerena upoređivanjem mjerene i estimirane struja – napon (I-V) i snaga-napon (P-V) karakteristike, sa posebnim osvrtom na opseg napona u dijelu karakteristike gdje se najčešće nalazi radna tačka. Dobijeni rezultati su pokazali da, u tom opsegu od interesa, PSO metod bolje aproksimira I-V i P-V karakteristiku.*

**Ključne riječi:** solarna ćelija, jednodiodni model, PSO algoritam

### 1. UVOD

Sve veće potrebe savremenog društva i ograničenost resursa neobnovljivih izvora energije i njihov negativan uticaj na životnu sredinu iziskuju ubrzan razvoj obnovljivih izvora energije. Direktno korišćenje Sunčeve energije pomoću solarnih ćelija sve više dobija na značaju. Solarne ćelije direktno pretvaraju energiju Sunca u električnu bez pokretnih mehaničkih dijelova, ne zagađuju okolinu i uz minimalno održavanje imaju radni vijek oko dvadesetak godina. Međutim, visoka cijena izrade, trenutna proizvodnja električne energije i to samo u periodu ozračenja, su mane i ograničenja solarnih ćelija.

Projektovanje, optimizacija i korišćenje fotonaponskih sistema u praktičnim primjenama može se olakšati primjenom pogodnog električnog modela solarne ćelije. Proizvođači fotonaponskih ćelija umjesto strujno-naponskih (I-V) karakteristika daju samo par eksperimentalnih vrijednosti koje opisuju električne i hemijske karakteristike solarnih ćelija. Štaviše, rijetki su proizvođači koji daju te eksperimentalne vrijednosti za različite ambijentalne uslove rada. Zbog toga se pribje-

gava estimaciji parametara kojima se opisuje zamjenska šema solarne ćelije (panela), a koji služe u analizi rada i optimizaciji pogona sa solarnim napajanjem.

U ovom radu, u cilju estimacije parametara solarne ćelije korišćen je jednodiodni model, dok su parametri estimirani pomoću Particle Swarm Optimization (PSO) metoda. Estimirani parametri dobijeni pomoću opisanog metoda su upoređeni sa parametrima dobijenim pomoću iterativnog metoda preuzetog iz [1] (u nastavku rada će se označavati kao Iterativni metod). Tačnost estimacije je provjerena upoređivanjem mjerene i estimirane I-V i P-V (snaga-napon) karakteristike. Štaviše, posebna pažnja je obraćena na dio karakteristike gdje se najčešće nalazi radna tačka.

Za određivanje parametara električnog modela solarne ćelije u dosadašnjim istraživanjima primijenjeni su brojni analitički, iterativni i optimizacioni metodi. Kod analitičkih metoda estimacija parametara je zasnovana na rješavanju matematičkih jednačina. U [2] je predložen jednostavan analitički model kod kojeg je solarna ćelija modelovana bez paralelne otpornosti.

U [3] i [4] analitička metoda se zasniva na Lambert-W- funkciji za estimaciju parametara solarne ćelije. Iterativni metodi, od kojih su mnogi zasnovani na Newton-Raphoson metodu (NRM) su široko zastupljeni u estimaciji parametara solarne ćelije [5-9]. Pomoću ovih metoda je moguće estimirati svih pet parametara električnog modela solarne ćelije, kao npr.

---

Adresa autora: Dražen Jovanović, Crnogorski elektrodistributivni sistem doo, Podgorica, Ivana Milutinovića 12, Crna Gora

e-mail: drazenldj@gmail.com

Rad primljen: 04.12.2018.

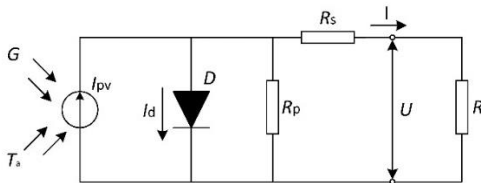
Rad prihvaćen: 17.01.2019.

u radu [10]. Nedostatak ovih metoda je zavisnost tačnosti i konvergencije od izbora početnih uslova. Nedostaci analitičkih i iterativnih metoda su prevaziđeni korišćenjem optimizacionih metoda zasnovanih na algoritmima za računanje koji koriste tehnike vještačke inteligencije. U [11] je korišćen Bacteria Foraging Algorithm, dok se u [12] i [2] koristi chaos i hybrid Particle Swarm Optimization algoritam. Upotreba Hybrid Genetic Algorithm, u istom cilju, razmotrena je u [13].

Ovaj rad je organizovan na sljedeći način: drugo poglavlje će biti posvećeno opisu jednodiodnog modela solarne ćelije, dok će u trećem poglavlju biti opisan korišćen metod za estimaciju parametara solarne ćelije. Rezultati simulacija i upoređenje dobijenih rezultata će biti prikazani u četvrtom poglavlju. Zaključna razmatranja i smjernice budućeg rada će biti dati na kraju rada.

## 2. JEDNODIODNI MODEL SOLARNE ČELIJE

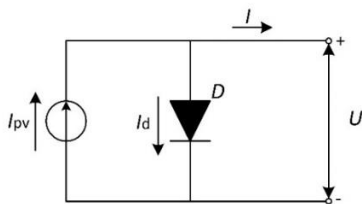
Na slici 1. prikazan je jednodiodni model osvijetljene solarne ćelije.



Slika 1 - Jednodiodni model solarne ćelije

Osvijetljena solarna ćelija (sunčevo zračenje  $G$ , temperatura ambijenta  $T_a$ ) se ponaša kao izvor stalne struje (generisana fotostruja  $I_{pv}$ ). Taj izvor stalne struje je paralelno vezan sa diodom ( $D$ ) i paralelnom otporom ( $R_p$ ) koji zavisi od osobina ćelije (najčešće je uzrokovan lokalnim defektima u pn spoju). Za silicijumske solarne ćelije  $R_p$  je veći od  $500 \Omega$ , pa pošto je veoma velike vrijednosti često se zanemaruje. Serijska otpornost  $R_s$  predstavlja omski otpor na koji nailazi struja koja teče kroz ćeliju, pa kroz površinu ćelije prema omskim kontaktima do spoja sa priključkom na spoljašnje kolo. Vrijednost serijske otpornosti treba da bude što manja i za silicijumske solarne ćelije je obično manja od  $0.1 \Omega$ .

Uzimajući da je  $R_s = 0$  i  $R_p \rightarrow \infty$  u idealnom slučaju šema sa slike 1. se svodi na ekvivalentni model idealne jednodiodne solarne ćelije (slika 2).

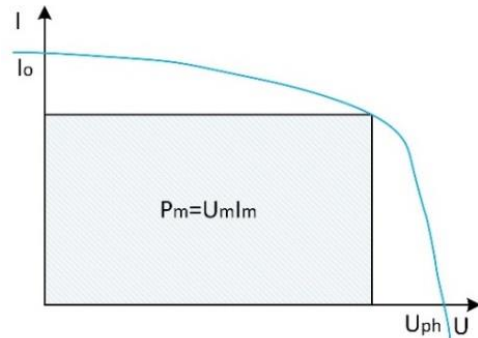


Slika 2 - Model idealne solarne ćelije

Na osnovu slike 2. slijedi jednačina izlazne struje :

$$I = I_{pv} - I_d = I_{pv} - I_o \left( e^{\frac{qV}{\alpha kT}} - 1 \right) \quad (1)$$

gdje su:  $I_o$  inverzna struja zasićenja diode,  $U, I$  izlazni napon i struja,  $q$  količina naelektrisanja elektrona,  $k$  Bolcmanova konstanta,  $\alpha$  faktor idealnosti diode. Na slici 3 je dat uobičajni prikaz realne I-V karakteristike solarne ćelije, gdje šrafirani pravougaonik odgovara maksimalnoj snazi koju ćelija može dati.



Slika 3 - I-V karakteristika realne solarne ćelije

Najvažniji parametri solarne ćelije su napon praznog hoda (njena elektromotorna sila  $U_{ph}$ ) i struja kratkog spoja  $I_{ks}$ . Stavljajući u jednačini (1) da je  $I = 0$  dobija se napon praznog hoda:

$$U_{ph} = \frac{kT}{q} \ln \left( \frac{I_{pv}}{I_o} + 1 \right) \quad (2)$$

Na osnovu relacije (2) slijedi da napon praznog hoda, tj. elektromotorna sila solarne ćelije zavisi od fotostruje i od struje zasićenja diode. Sa porastom nivoa zračenja raste vrijednost fotostruje, pa samim tim i napon praznog hoda. Stavljajući u jednačinu (1) da je  $U = 0$ , dobija se struja kratkog spoja:

$$I_{ks} = I_{pv} \quad (3)$$

Prema tome, u slučaju zanemarivanja redne i paralelne otpornosti, struja kratkog spoja solarne ćelije je jednaka fotostruji.

Na osnovu prethodno rečenog slijedi da je I-V karakteristika veoma zavisi od promjene inteziteta zračenja. Za razliku od struje kratkog spoja koja je direktno proporcionalna intezitetu zračenja, napon praznog hoda je logaritamska funkcija inteziteta zračenja.

Na primjer ako se zračenje smanji dva puta, struja kratkog spoja se manji dva puta, a napon praznog hoda oko 5%. Snaga koju daje solarna ćelija je data izrazom:

$$P = UI = U \left( I_{pv} - I_o e^{\frac{qU}{\alpha kT}} + I_o \right) \quad (4)$$

U realnom modelu jednodiodne solarne ćelije (slika 1) moraju se uzeti u obzir otpornosti  $R_s$  i  $R_p$ . Jednačina izlazne struje je u realnom modelu data izrazom:

$$I = I_{pv} - I_d - \frac{U + IR_s}{R_p} = I_{pv} - I_o \left( e^{\frac{q(U+IR_s)}{akT}} - 1 \right) - \frac{U + IR_s}{R_p} \quad (5)$$

Opisani jednodiodni model solarne ćelije je najjednostavniji model i ne uzima u obzir uticaj temperature na parametre kola. Za modelovanje solarne ćelije pored opisanog modela koriste se i dvodiodni i trodiodni model.

### 3. PSO ALGORITAM

U ovom radu za estimiranje parametara solarne ćelije je korišćen Particle Swarm Optimization Algorithm – PSO [14]. Inače PSO algoritam predstavlja metod jata ptica koji simulira potragu ptica za hranom. Jato ptica traži hranu, pri čemu ni jedna ptica ne zna gdje se tačno hrana nalazi. Jedini podatak koji imaju je udaljenost do lokacije gdje se nalazi hrana. Prema tome, konačni cilj (tj. kriterijumska funkcija) jeste da se dođe do hrane.

Na početku, sve ptice lete proizvoljnom brzinom i nalaze se na proizvoljnoj poziciji. Nakon određenog vremena na osnovu njihovog iskustva i iskustva drugih ptica, sve ptice prate onu koja je najbliža hrani. Prema tome, u opštem slučaju, kriterijumska funkcija (eng. Fitness function), je udaljenost jata od hrane, tj. definiše udaljenost ptice koja je najbliža hrani od lokacije hrane.

Sam algoritam može se sumirati u sljedećem. U svakoj iteraciji algoritma kriterijumskom funkcijom se računa udaljenost od hrane za svaku pticu i uzimaju se samo dvije najbolje vrijednosti ili dvije najbliže ptice. Prva vrijednost je najbolja kriterijumska vrijednost za jednu pticu (eng. particle) ili najbolja pozicija jedne ptice (ona se naziva 'pbest'). Druga vrijednost je najbolja fitness vrijednost svih ptica ili najbliža ptica za čitavu populaciju ili jato (naziva se 'gbest'). Pozicija i brzina svake ptice su date formulama (6) i (7).

$$v = w \cdot v + c_1 \cdot rand \cdot (pbest - x) + c_2 \cdot rand \cdot (gbest - x), \quad (6)$$

$$x = x + v. \quad (7)$$

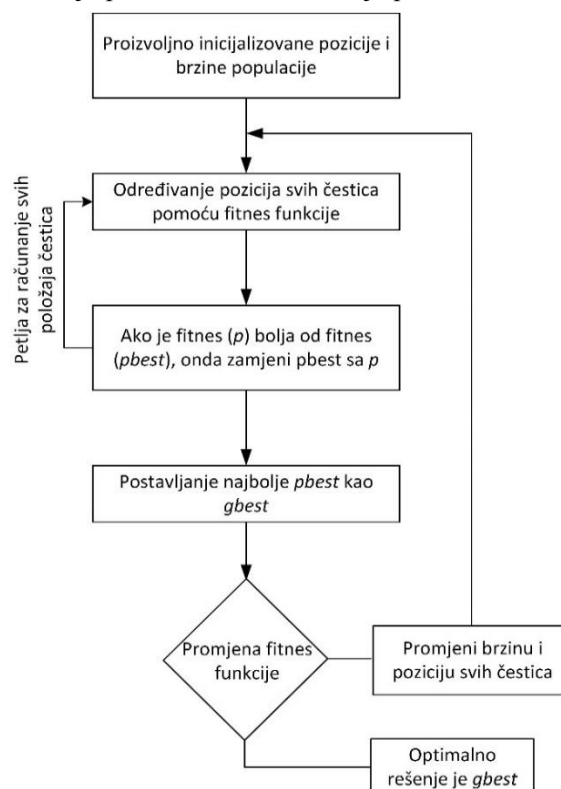
U prethodnim formulama  $v$  je brzina ptice (eng. particle) i  $w$  je inercija ptice (njena vrijednost se kreće u opsegu od 0 do 1). Trenutna pozicija ptice (eng. particle) je  $x$ , dok su pbest i gbest definisane iz prethodne iteracije. Promenljive  $c_1$  i  $c_2$  su konstante, i najčešće njihove vrijednosti su:  $c_1=c_2=2$ . Izbor vrijednosti koeficijenata  $c_1, c_2$  i inercije  $w$  je veoma

važan za konvergenciju algoritma. Međutim, kako brzine ptica mogu vrlo brzo dostići velike vrijednosti i tako položaj ptica povećati do velikih vrijednosti može izaći iz prostora rešenja. Zbog toga, PSO algoritam ograničava brzinu ptica u određenom opsegu. Grafički prikaz algoritma PSO metoda je dat na slici 4.

U ovom radu PSO algoritam će se primjeniti u cilju određivanja četiri parametra jednodiodnog modela solarne ćelije:  $R_s$  redna otpornost,  $R_p$  paralelna otpornost,  $I_{pv}$  struja strujnog izvora solarne ćelije i  $I_o$  struja saturacije diode. Predloženi PSO algoritam radi tako što na osnovu izmjerenih vrijednosti parova strujna- napon, tj. sa izmjerene I-V karakteristike, određuju nepoznati parametri modela u cilju minimizacije kriterijumske funkcije (KF). U ovom radu kriterijumska funkcija, izvedena iz jednačine (5) ima sljedeći oblik:

$$KF = I_{pv} - I_o \left( e^{\frac{q(U+IR_s)}{akT}} - 1 \right) - \frac{U + IR_s}{R_p} - I \quad (8)$$

Preciznije i tačnije mjerenje, kao i više izmjerenih napon-struja tačaka, omogućava i precizniju estimaciju parametara solarne ćelije/panela.



Slika 4 - Algoritam PSO metode

### 4. PRIMJENA PSO METODA U ODREĐIVANJU PARAMETARA SOLARNE ČELIJE

Pomoću Particle Swarm Optimization (PSO) metoda estimirani su parametri jednodiodnog modela u slučaju BP solar MSX-60 solarnog panela sa 36

redno vezanih solarnih ćelija i solarne ćelije R.T.C. France solar cell. Podaci proizvođača o pomenutom solarnom panelu i solarnoj ćeliji su dati u tabeli 1, dok se podaci o izmjerenim I-V i P-V karakteristikama, kao i procedura mjerenja i uslovi mjerenja (insolacija, temperatura) mogu naći u [15-16]. Važno je naglasiti da je mjerenje I-V krivih kod BP solar MSX-60 realizovano pri nominalnoj insolaciji ( $1000\text{W}/\text{m}^2$ ) i temperaturi od  $25^\circ\text{C}$ , a kod R.T.C France solar cell takođe pri insolaciji od  $1000\text{W}/\text{m}^2$ , ali pri temperaturi od  $33^\circ\text{C}$ . Uticaj insolacije i temperature na vrijednost struja  $I_{pv}$ , kao i uticaj temperature na struju  $I_0$  može se naći u [1].

PSO algoritam je realizovan kroz programski kod, napisan u MATLAB – u (R2017a - 64bit), dok su sve simulacije izvršene na računaru sa 8GB radne memorije i i7 (2.7 GHz) procesorom.

Tabela 1. Osnovni parametri solarnih panela/ćelija

Parametri	BP solar MSX-60	Photowatt PWP 201
$I_{ks}(\text{A})$	3.8	0.7603
$U_{ph}(\text{V})$	21.1	0.5728
$I_m(\text{A})$	3.5	0.6894
$V_m(\text{V})$	17.1	0.4507
$K_v(\text{V}/^\circ\text{C})^*$	-0.08	-0.08
$K_I(\text{A}/^\circ\text{C})^{**}$	0.003	0.003
NS	36	1
$\alpha$	1.3	1.4837

\* temperaturna naponska konstanta

\*\* temperaturna strujna konstanta

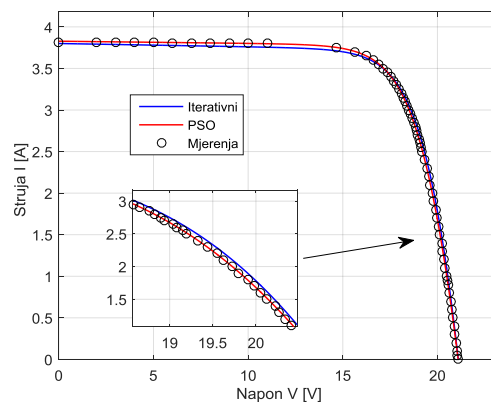
U radu su estimirane vrijednosti redne i paralelne otpornosti, vrijednost struje saturacije diode i vrijednost struje strujnog generatora. Estimirani parametri dobijeni pomoću opisanog metoda su upoređeni sa parametrima dobijenim pomoću Iterativnog metoda, a tačnost je provjerena upoređivanjem mjerene i estimirane I-V i P-V karakteristike.

U tabeli 2, su prikazani vrijednosti estimiranih parametara za BP solar MSX-60 solarni panel dobijene pomoću PSO i Iterativnog metoda.

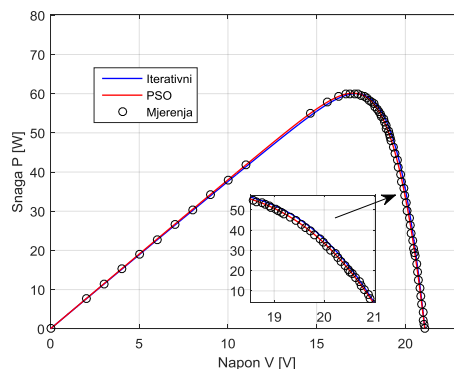
Tabela 2. Pregled estimiranih parametara solarne ćelije BP solar MSX-60

Parametri	Iterativni metod	PSO algoritam
$R_s$	0.1800 $\Omega$	0.232 $\Omega$
$R_p$	253.2474 $\Omega$	386.267 $\Omega$
$I_0$	$8.8806 \cdot 10^{-8}$ A	$9.07 \cdot 10^{-8}$ A
$I_{pv}$	3.8028 A	3.82 A

Na slici 5, su prikazane I-V karakteristike solarnog panela čiji parametri su dobijeni primjenom PSO i Iterativnog metoda. Takođe, na grafiku je prikazana i mjerena karakteristika.



Slika 5 - I-V karakteristika za solarnu ćeliju BP solar MSX-60



Slika 6 - Mjerena i estimirane P-V karakteristike solarne ćelije BP solar MSX-60

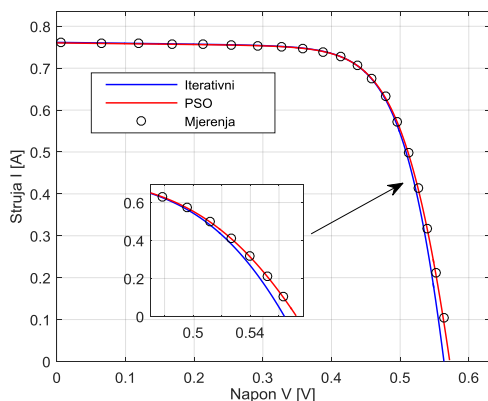
S obzirom da se radna tačka, odnosno presjek sa karakteristikom opterećenja, najčešće nalazi u drugom dijelu I-V karakteristike na slici 5, je posebno naglašen i ovaj dio karakteristike. Sa ove slike se može uočiti da u ovom značajnom opsegu napona PSO metod daje bolje rezultate, tj. parametri određeni PSO metodom bolje aproksimiraju I-V karakteristiku. Na slici 6, su prikazane P-V karakteristike solarnog panela dobijene na osnovu estimiranih parametara pomoću PSO i Iterativnog metoda, kao i mjerena karakteristika. Takođe, jasno je da PSO metod bolje aproksimira P-V karakteristiku.

Tabela 3. Pregled estimiranih parametara solarne ćelije R.T.C. France solar cell

Parametri	Iterativni metod	PSO algoritam
$R_s$	0.0250 $\Omega$	0.01999 $\Omega$
$R_p$	47.7640 $\Omega$	54.503 $\Omega$
$I_0$	$4.0127 \cdot 10^{-7}$ A	$3.594 \cdot 10^{-7}$ A
$I_{pv}$	0.7620 A	0.753 A

U tabeli 3, su prikazane vrijednosti estimiranih parametara za R.T.C. France solar cell ćeliju dobijene pomoću PSO i Iterativnog metoda.

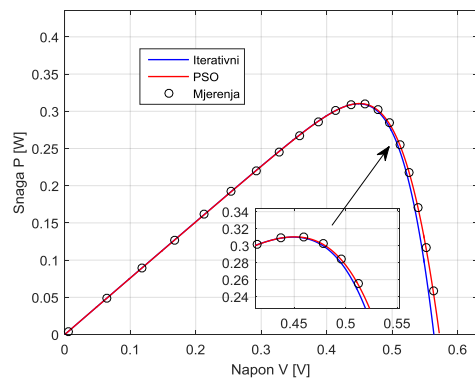
Na slici 7, je prikazana mjerena I-V kriva, kao i I-V karakteristike solarnog panela na osnovu estimiranih parametara pomoću PSO i Iterativnog metoda.



Slika 7 - I-V karakteristika za solarnu ćeliju R.T.C. France solar cell

Sa slike 7, može se vidjeti da PSO metod bolje aproksimira I-V karakteristiku i u ovom slučaju. Radi jasnijeg uočavanja razlike između rezultata dobijenih pomoću parametara odrađenih primjenom PSO i Iterativnog metoda na slici 7, je prikazan dio I-V karakteristike u opsegu velikih napona.

Na slici 8, su prikazane odgovarajuće P-V karakteristike. Na osnovu ovih rezultata, takođe je jasno da PSO metod omogućava određivanje parametara koje služe za bolju estimaciju snaga-napon karakteristika.



Slika 8 - P-V karakteristika za solarnu ćeliju Photowatt PWP 201

Posmatrajući sve prethodno navedene slike (5-8), jasno je da PSO metoda daje bolje rezultate, tj. omogućava određivanje parametara koje služe za bolju estimaciju izlaznih karakteristika solarnih ćelija/panela.

## 7. ZAKLJUČAK

U ovom radu je za određivanje nedostajućih parametara za modelovanje solarne ćelije korišten Particle

Swarm Optimization (PSO) metod. Opisan je jednodiodni električni model solarne ćelije. Estimirane su vrijednosti redne i paralelne otpornosti, vrijednost struje saturacije diode i vrijednost struje strujnog generatora. Estimirani parametri dobijeni pomoću opisanog metoda su upoređeni sa parametrima dobijenim pomoću Iterativnog metoda, a tačnost je provjerena upoređivanjem mjerene i estimirane I-V i P-V karakteristike. Radi upoređenja izabranog metoda estimacije parametara upoređene su I-V i P-V karakteristike solarnog panela, sa posebnim osvrtom na opseg napona u dijelu karakteristike gdje se najčešće nalazi radna tačka. Dobijeni rezultati su pokazali da, u tom opsegu od interesa, PSO metod bolje aproksimira I-V i P-V karakteristiku.

Aktuelnost teme i problemi koji se javljaju prilikom modelovanja solarnih ćelija zbog nepoznavanja realnih parametara u realnom okruženju predstavljaju smjernice i izazov budućeg istraživanja sa naglaskom na primjeni i predlaganju novih metoda za estimaciju parametara solarnih ćelija /panela.

## 8. ZAHVALNICA

Istraživanje prikazano u ovom radu dio je aktivnosti Elektrotehničkog fakulteta u Podgorici na aktuelnom projektu „Cross border management of variable renewable energies and storage units enabling a transnational wholesale market (Prekogranično upravljanje promjenljivim obnovljivim izvorima energije i jedinicama za skladištenje, u cilju obezbjeđivanja internacionalnog tržišta električne energije na veliko) – CROSSBOW,“ koje finansira Ministarstvo nauke Crne Gore.

## LITERATURA

- [1] Villalva MG, Gazoli JR, Filho E.R. Comprehensive Approach to Modeling and Simulation of Photovoltaic Arrays, *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol. 24, No. 5, pp. 1198 – 1208, 2009.
- [2] Mughal MA, Ma Q, Xiao C. Photovoltaic Cell Parameter Estimation Using Hybrid Particle Swarm Optimization and Simulated Annealing, *Energies*, Vol. 10, pp. 1-14, 2017.
- [3] Jain A, Kapoor A. Exact analytical solutions of the parameters of real solar cells using Lambert W-function, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Vol. 81, No. 2, pp. 269-277, 2004.
- [4] Cubas J, Pindado S, Manuel C. Explicit Expressions for Solar Panel Equivalent Circuit Parameters Based on Analytical Formulation and the Lambert W-Function, *Energies*, Vol. 7, pp. 4098-4115, 2014.

- [5] Ishaque K, Salam Z, Taheri H. Accurate MATLAB Simulink PV System Simulator Based on a Two-Diode Model, *Journal of Power Electronics*, Vol. 11, No. 2, pp. 179-187, 2011.
- [6] Hejri M, Mokhtari H, Azizian MR, Ghandhari M, Soder L. On the Parameter Extraction of a Five-Parameter Double-Diode Model of Photovoltaic Cells and Modules, *IEEE journal of Photovoltaic*, Vol. 4, No. 3, pp. 915-923, 2014.
- [7] Ma J, Man KL, Ting TO, Zhang N, Guan SU, Wong PW. Approximate Single-Diode Photovoltaic Model for Efficient I-V Characteristics Estimation, *The Scientific World Journal*, Vol. 2013, 7 pp. 1-7, 2013.
- [8] Necaibia A, Boutasseta N, Mouhajer S. A Simple Theoretical Method for the Estimation of Dynamic Resistance in Photovoltaic Panels, *International Journal of Computer Applications*, Vol. 45, No. 14, May 2012.
- [9] Enebish N, Agchbayar D, Dorjkhand S, Baatar D, Ylemj I. Numerical analysis of solar cell current-voltage characteristics, *Solar energy materials and solar cells*, Vol. 29, No. 3, pp. 201-208, 1993.
- [10] Mohapatra A, Nayak BK, Mohanty KB, Comparative study on single diode photovoltaic module parameter extraction methods, *In Proc. IEEE International Conference on Power, Energy and Control (ICPEC)*, Sri Rangalatchum Dindigul, India, pp. 30-34, Feb. 2013.
- [11] Rajasekar N, Kumar NK, Venugopalan R. Bacterial Foraging Algorithm based solar PV parameter estimation, *Solar Energy*, Vol. 97 pp. 255-265, 2013.
- [12] Wei H, Cong J, Lingyun X, Deyun S. Extracting Solar Cell Model Parameters Based on Chaos Particle Swarm Alogorithm, *In Proc. 2011 International Conference on Electric Information and Control Engineering*, Wuhan, China, 2011.
- [13] Lingyun X, Lefei S, Wei H, Cong J. Solar Cells Parameter Extraction Using a Hybrid Genetic Algorithm, *In Proc. of 2011 Third International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation*, Shangshai, China, 2011.
- [14] Khanna V, Das BK, Bisht D, Vandana PK, Singh A. three diode model for industrial solar cells and estimation of solar cell parameters using PSO algorithm, *Renewable Energy*, Vol. 78, pp. 105-113, 2015.
- [15] Easwarakhanthan T, Bottin J, Bouhouch I, Boutrit C. Nonlinear minimization algorithm for determining the solar cell parameters with microcomputers. *Int J Sol Energy*, Vol. 4, pp. 1-12, 1986.
- [16] <https://sites.google.com/site/mvillalva/pvmodel>

## SUMMARY

### ESTIMATION OF SOLAR CELL PARAMETERS USING PSO ALGORITHM

*In this paper, the use of the Particle Swarm Optimization algorithm for solar cell parameters estimation considered. The values of series and shunt resistance, the value of the reverse saturation current and the value of photogenerator are estimated. Estimated parameters obtained using the described method are compared with the parameters obtained use of the Iterative method. T The accuracy has been verified by comparing the measured and estimated current-voltage (I-V) and power-voltage (P-V) characteristics, with special attention on the voltage range in the part of the characteristic where the operation point is most often located. In this range of interest, the obtained results show that the PSO method better approximates I-V and P-V characteristics.*

**Key words:** *algorithm solar cell, one diode model, PSO algorithm*