



Edukativni set za merenje električnih parametara fotonaponskog panela

Marko Šučurović¹, Miloš Božić¹ i Snežana Dragičević¹

¹Fakultet tehničkih nauka u Čačku, Univerzitet u Kragujevcu, Čačak, Srbija
e-mail marko.sucurovic@ftn.kg.ac.rs

Rezime: U radu je prikazan jedan edukativni set za realizaciju dela praktičnih vežbi iz fotonaponskih sistema. Opisana je strujno-naponska karakteristika fotonaponskog panela i ukratko data pojašnjenja pojedinih parametara karakterističnih za fotonaponski panel. Dat je način merenja električnih parametara primenom klasičnih mernih instrumenata i primenom merno-akvizicionog sistema. Upotrebom merno akvizicionih sistema snimanje bitnih karakteristika biva ubrzano i glavni fokus je na obradi i analizi rezultata, a ne na očitavanju što je slučaj sa tradicionalnim načinom merenja. Po završenom merenju aplikacija formirana u LabVIEW automatski generiše izveštaj. Date su ideje za dalji razvoj novih setova koji bi obogatili nastavu iz fotonaponskih panela.

Ključne reči: fotonaponska ćelija; fotonaponski panel, I-V karakteristika, LabVIEW

1. UVOD

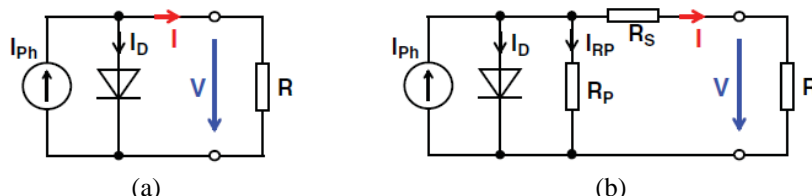
Fotonaponski (FN) sistemi, pored ostalih tehnologija u proizvodnji el. energije iz obnovljivih izvora imaju značajan udeo, pa tako na svetskom nivou na kraju 2014. god. ukupna instalisana snaga fotonaponskih sistema je iznosila 177 GW [1]. Sve veća primena FN izvora energije zahteva i veći broj nastavnih jedinica u školama i fakultetima koji će obrađivati ovu oblast tehnike. Studenti koji u pojedinim predmetima izučavaju obnovljive izvore energije treba pored teorijskih znanja, da steknu i što više praktičnog iskustva. Na taj način studenti mogu da stvore potpunu sliku o principu funkcionisanja pojedinih sistema za dobijanje električne energije pomoću obnovljivih izvora. Škole i fakulteti bi trebalo što više da upotunjuju svoju nastavu praktičnim radom. Tu se pre svega misli na rad u laboratoriji i ako je omogućeno, rad kroz praksu u privredi. U pogledu rada u laboratoriji laboratorijske postavke realnih sistema poboljšavaju kvalitet nastave.

2. ELEKTRIČNE KARAKTERISTIKE FOTONAPONSKE ĆELIJE

Najznačajnija karakteristika fotonaponskih ćelija ili panela je funkcija struja-napon (I - V karakteristika), sa koje se mogu dobiti neki od važnih parametara FN ćelije/panela. FN panel se najčešće modeluje pomoću ekvivalentnog strujnog kola, a I - V karakteristika je data matematičkom funkcijom. Zavisnost pojedinih veličina se može i potvrditi pomoću merenja i upoređivanjem vrednosti dobijenih merenjem i matematičkim modelom [2]. Veličine koje se mere pomoću akvizicione opreme se mogu veoma lako dalje obrađivati, pa stoga ovakvi primeri mogu biti dalje razvijani kroz koncept udaljenog učenja [3].

Fotonaponska ćelija se može modelovati pomoću strujnog izvora, diode vezane paralelno

ovom izvoru i unutrašnjom otočnom i rednom otpornošću (Sl. 1b). Struja strujnog izvora I_{Ph} je zapravo foto-struja i srazmerna je iradijansi i površini ćelije.



Slika 1. Ekvivalentno strujno kolo opterećene FN idealne (a) i realne (b) ćelije [4]

FN ćelija bez njene paralelne (R_P) i redne (R_S) otpornosti postaje tzv. idealna ćelija (Sl. 1a). Izlazna struja idealne i realne FN ćelije su:

$$I = I_{Ph} - I_D = I_{Ph} - I_s (e^{eV/nkT} - 1) \tag{1}$$

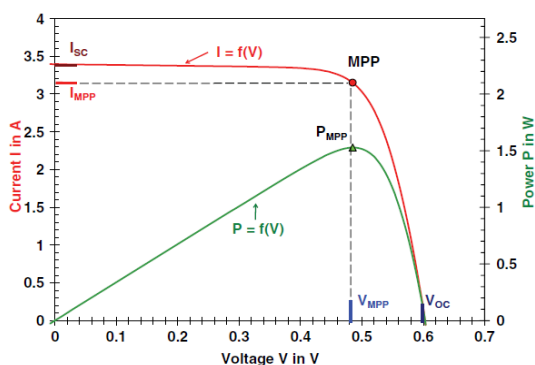
$$I = I_{Ph} - I_s (e^{eV/nkT} - 1) - (V + IR_S)/R_P \tag{2}$$

gde je: I_s —struja zasićenja diode, e —naelektrisanje elektrona ($1.6 \cdot 10^{-19}$ C), n —factor kvaliteta diode (najčešće $n=1$), k —Bolcman konstanta ($1.38 \cdot 10^{-23}$ J/K), T —temperatura u K.

Iz izraza (1) se dobija izraz za napon na krajevima idealne FN ćelije:

$$V = (nkT/e) \ln\{1 + [(I_{Ph} - I)/I_s]\} \tag{3}$$

Na Sl. 2 data je strujno-naponska karakteristika i karakteristika snage u funkciji napona FN ćelije površine 102 cm^2 , pri iradijansi od 1 kW/m^2 i temperaturi od $25 \text{ }^\circ\text{C}$ [1]. Na ovoj karakteristici su prikazane veličine koji su najvažniji parametri FN ćelije/panela, a to su: I_{SC} – struja kratkog spoja, V_{OC} – napon otvorenog kola, P_{MPP} – maksimalna snaga, I_{MPP} – struja pri maksimalnoj snazi, V_{MPP} – napon pri maksimalnoj snazi. Navedeni parametri se najčešće navode na tablici karakteristika svakog FN panela. Tačka MPP na funkciji $I=f(V)$ je tačka maksimalne snage pri određenoj vrednosti iradijanske i temperature.



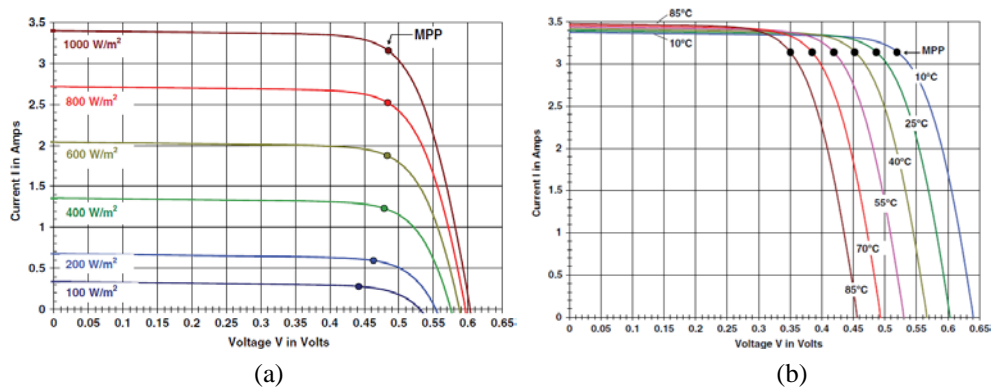
Slika 2. Karakteristika $I=f(V)$ i $P=f(V)$ fotonaponske ćelije [4]

Na Sl. 3 prikazane su strujno-naponske karakteristike FN ćelije za različite vrednosti iradijanske i temperature ćelije. Primećuje se da vrednost struje kratkog spoja dominantno zavisi od vrednosti iradijanske, dok napon otvorenog kola od temperature ćelije. Vrednosti promene napona V_{OC} i struje I_{SC} u funkciji temperature se često navode na tablici sa karakteristikama FN panela u $\%/^\circ\text{C}$.

Pored efikasnosti, parametar koji pokazuje kvalitet FN ćelije je faktor ispunje – FF [4,5]. Snaga P_{MPP} , odnosno proizvod napona i struje pri MPP uvek je manji od proizvoda napona otvorenog kola V_{OC} i struje kratkog spoja I_{SC} . Odnos ove dve snage definiše faktor ispunje:

$$FF = P_{MPP}/V_{OC} \cdot I_{SC} = V_{MPP} \cdot I_{MPP}/V_{OC} \cdot I_{SC} \quad (4)$$

Ovaj faktor najčešće ima vrednost u granicama od 60 do 80%.



Slika 3. Karakteristika $I=f(V)$ fotonaponske ćelije pri različitim vrednostima iradijancije (a) i temperature (b) [1]

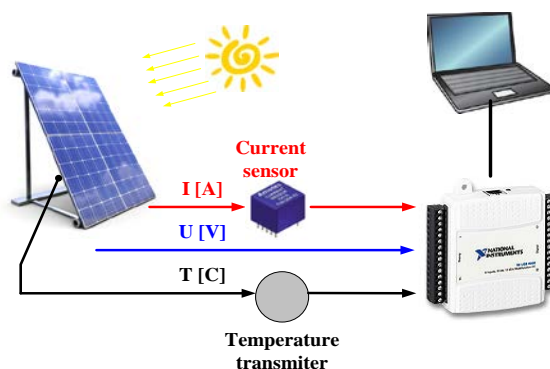
3. MERENJE ELEKTRIČNIH PARAMETARA FN PANELA

3.1. Merenja pomoću mernih instrumenata

Najjednostavnija merenja električnih parametara FN panela se mogu obaviti pomoću klasičnih mernih instrumenata. Pored FN panela, potrebni su ampermetar i voltmetar kao i opterećenje u vidu promenljive otpornosti R . Snaga primenjenog otpornika treba da bude jednaka maksimalnoj snazi panela. Merenje temperature panela se može vršiti bilo kojim senzorom za merenje temperature (termopar, Pt100 sonda). Ulazna snaga (iradijansa) se dovodi direktnim izlaganjem panela sunčevim zracima ili još praktičnije, postavljanjem veštačkog izvora svetlosti. Pomoću veštačkog izvora je mnogo lakše upravljati ulaznom snagom i to u željenom trenutku, odnosno vreme merenja neće zavisiti od doba dana. Osim jednog panela merenja se mogu izvršiti za više panela, koji mogu biti povezani na red, paralelno ili kombinovano. U tom slučaju $I-V$ karakteristika je definisana: strujom kratkog spoja $m \cdot I_{SC}$, gde je m broj panela vezanih paralelno; i naponom otvorenog kola $n \cdot V_{OC}$, gde je n broj panela povezanih redno.

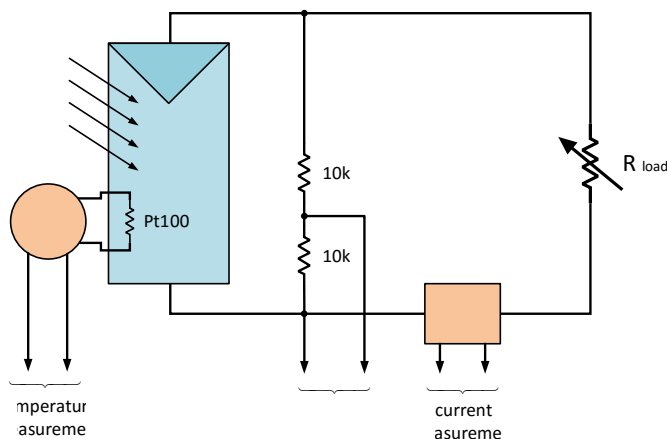
3.2. Merenja primenom akvizicione opreme i softvera

Tradicionalan način rada u laboratoriji podrazumeva upotrebu klasičnih instrumenata u formi analognih ili digitalnih ampermetara, voltmetara i termometara. Danas kada se sve izvršava na računarima i mobilnim uređajima, i dalje rad u laboratoriji počinje na tradicionalnim postavkama. To predstavlja osnovu, jer se na takvim postavkama mogu naučiti osnovni principi i uočiti sve one veze koje uvođenjem elektronskih uređaja u nekoj meri bivaju potisnute u drugi plan. Nastavak merenja tradicionalnim instrumentima predstavlja upotreba merno akvizicionih uređaja kakvi se mogu sresti u savremenim mernim stanicama. Iz tog razloga je formirana identična postavka ali se merenje vrši upotrebom merno akvizicione kartice i računara. Na Sl. 4 je data blok šema takve postavke.



Slika 4. Blok šema za merenje parametara FN panela primenom akvizicione opreme

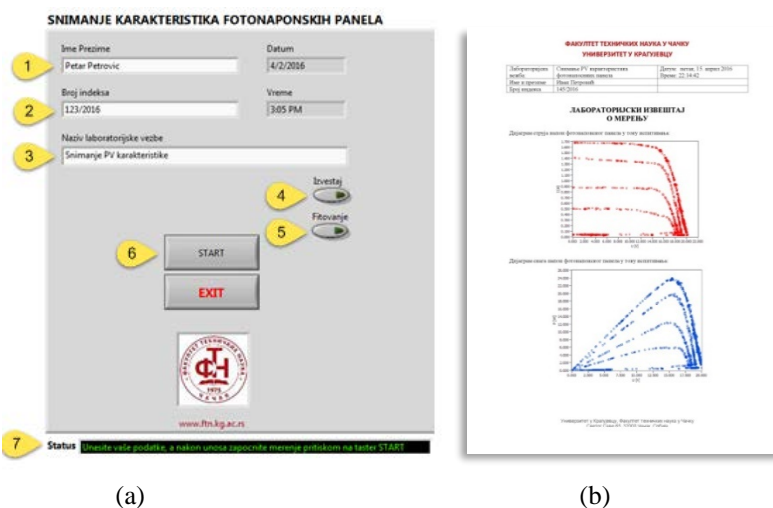
Na Sl. 5 se mogu uočiti FN paneli, merno akviziciona kartica USB tipa NI6009 [6]. Kako ovaj tip akvizicione kartice poseduje samo naponske ulaze koji imaju merni opseg $\pm 10V$, potrebno je sve ulazne signale prilagoditi. Iz tog razloga za merenje napona je upotrebljen razdelnik napona, dok za merenje struje se koristi strujni senzor [7]. Strujni senzor radi na principu Hall efekta i strujni signal vrednosti od 0–2.5 A pretvara u naponski signal u opsegu od 0–5 V. Za merenje temperature koristi se Pt100 sonda koja se upotrebom transmitera dovodi na akvizicionu karticu. Transmitter obezbeđuje da se signali mV vrednosti pretvori u naponski signal do 10 V [8].



Slika 5. Električna šema DAQ sistema

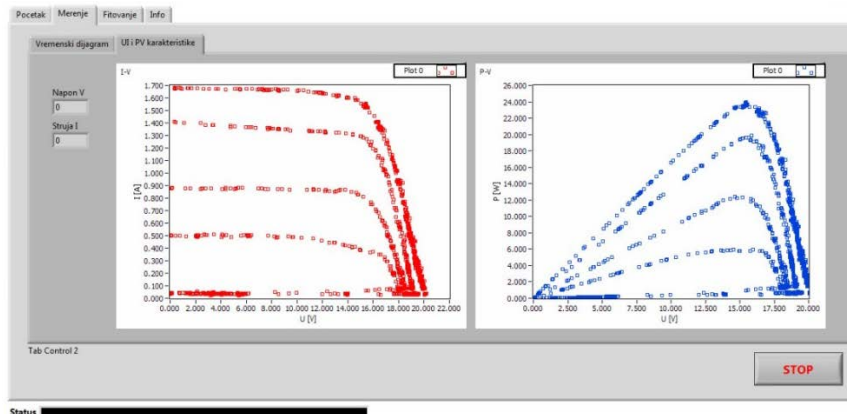
Da bi se ubrzao postupak merenja i dobijanja karakteristika FN panela kreirana je aplikacija u LabVIEW programu za automatsko formiranje izveštaja nakon merenja, kao i za pamćenje podataka u nekom dužem vremenskom periodu. Aplikacija omogućava i nadzor FN panela sa udaljene lokacije. Monitoring parametara je veoma čest slučaj kada su u pitanju solarne elektrane koje se nalaze veoma često na lokacijama izvan naseljenih mesta, a kako je postrojenje statičko i nema potrebe za fizičkim prisustvom čoveka dovoljno je vršiti nadzor parametara. Na ovaj način studentima je omogućeno da se upoznaju i sa ovim konceptom praćenja karakterističnih veličina FN panela.

Nakon pokretanja aplikacije dobija se prikaz kao na Sl. 6(a). Potrebno je uneti ime i prezime studenta (1), broj indeksa (2) kao i naziv merenja koje se izvodi (3). Postoji mogućnost izbora da li se želi kreirati izveštaj (4) i da li se želi izvršavanje fitovanja dobijene karakteristike (5). U svakom trenutku se informacije o trenutnom statusu aplikacije mogu pratiti na statusnoj liniji (7). Izgled generisanog izveštaja je prikazan na Sl. 6(b). Izgled izveštaja se može veoma lako prilagoditi potrebama, konkretne vežbe, pa se mogu dodati ostali potrebni podaci koji su bitni pri izvođenju vežbe.



Slika 6. Početni prozor za unos podataka i izbor pojedinih funkcija (a) i izgled generisanog izveštaja (b)

Nakon unosa podataka i pokretanja aplikacije na taster START, prelazi se na deo aplikacije gde se može izabrati da li se želi merenje trenutne vrednosti napon u vremenu ili karakteristike struja–napon, odnosno snaga–napon. Osim dijagrama koje prikazuju funkcije određenih veličina date su i trenutne brojne vrednosti napona, struje i temperature. Ovaj deo aplikacije je prikazan na Sl. 7.



Slika 7. Izgled razvijene aplikacije za merenje I-V karakteristike

4. ZAKLJUČAK

Praktična nastava značajno utiče na razumevanje određenih nastavnih jedinica koje se proučavaju u teorijskoj nastavi. Zbog toga je bitno da se u oblasti obnovljivih izvora energije, na primeru fotonaponskih sistema studenti što bolje upoznaju sa načinom funkcionisanja ovih sistema i teorijska nastava obogati praktičnim aplikativnim primerima. Snimanje *I-V* karakteristike FN panela predstavlja jednu od uvodnih vežbi u nizu praktičnih vežbi iz FN sistema. Dalji razvoj ove postavke će ići u smeru monitoringa i skladištenje parametara daljinskim putem. Kako bi studenti bili u mogućnosti da vide promenu parametara za konkretne pozicije i položaje panela edukativni set će biti obogaćen i sa senzorima za merenje elevacije, azimuta, nadmorske visine i gps lokacije. U cilju proširenja aspekta merenje će biti obogaćeno i upravljanjem u cilju postizanja najveće insolacije. Formiranjem udaljenog eksperimenta povećaće se dostupnost laboratorijske postavka, čime bi se omogućilo studentima komotno izvođenje laboratorijskih vežbi u nekom drugom ambijentu bez prisustva u laboratoriji.

LITERATURA

- [1] A Snapshot of Global PV Markets 2014 (2015). International Energy Agency (IEA), Brussels, Belgium.
http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/technical/PVPS_report_-_A_Snapshot_of_Global_PV_-_1992-2014.pdf
- [2] Tian, H., Mancilla-David, F., Ellis, K., Muljadi, E., Jenkins, P. (2012). *A cell-to-module-to-array detailed model for photovoltaic panels*. Solar Energy, 86, 2695–2706.
- [3] F. Schauer, F. Lustig and M. Ozvoldova. (2006). *Remote scientific experiments across Internet: photovoltaic cell characterization*. Conference ICL2006, September 27 -29, 2006 Villach, Austria.
- [4] Hauberlin, H. (2012). *Photovoltaics: system design and practice*. John Wiley & Sons.
- [5] Photovoltaic Cell I-V Characterization Theory and LabVIEW Analysis Code – Part II. <http://www.ni.com/white-paper/7230/en/>
- [6] Internet site, Instruction manual, <http://www.ni.com/pdf/manuals/371303n.pdf>, Visited: April, 2016.
- [7] Internet site, Data, <http://sentronis.rs/wp-content/uploads/2012/09/ametes-senis%20katalog%205.pdf>. Visited: April, 2016.
- [8] *Internet site, Instruction manual*, http://deltaohm.cl/delta_cl/index.php?main_page=product_info&products_id=2&language=en . Visited: April, 2016.
- [9] Duffie, J., Beckman, W. (2006). *Solar engineering of thermal processes*, John Wiley & Sons Ltd., New York.