

MODELIRANJE TEMPERATURNIH EFEKATA SOLARNIH SISTEMA

Prof.dr. Ferid Softić

Internacionalni univerzitet Travnik u Travniku, Bosna i Hercegovina

Prof.dr. Zlatko Bundalo

Elektrotehnički fakultet u Banjaluci

Alija Jusić, MA-dipl el.ing., e- mail: al.jusic@elektroprivreda.ba

JP Elektroprivreda BiH d.d., Sarajevo

Mirsada Aličehić, MA-dipl.el.ing.

Internacionalni univerzitet Travnik u Travniku, Bosna i Hercegovina

Sažetak: U radu su analizirani modeli solarnih ćelija te njihove temperaturne zavisnosti kao i mogućnost poboljšanja temperaturnih nezavisnosti parametara i performansi sistema. Na osnovu analize rezultata temperaturne zavisnosti snage i poređenja sa eksperimentalnim i simulacionim rezultatima prezentovan je opseg pogodnih radnih temperatura u cilju istraživanja mogućnosti povećanja energetske efikasnosti. Ugao između upadnih Sunčevih zraka i fiksnog modula neprestano se mijenja tokom dana tako da se neprestano mijenja i intenzitet upadnog zračenja.

Ključne riječi: Solarna energija, proizvodnja električne energije, fotonaponski moduli

MODELING OF TEMPERATURE EFFECTS OF SOLAR SYSTEM

Abstract: This paper analyzed models of solar cells and their temperature dependences with possibilities of temperature independent parameters and system preferences. Based on result analyses of temperature dependence of power and comparison with experimental and simulated results, presented is the range of accepted work temperatures in the goal of research of potential increase of energy efficiency. Angle between input solar rays and fixed module is changed throughout the day and so changes the power of input radiation.

Keywords: Solar energy, production of solar energy, photovoltaic system

1. UVOD

Veoma bitne energetske oblasti danas obuhvataju iskorištavanje: solarne energije, energije vjetra, geotermalne energije, energije biomase i biogas. Proizvodnja električne energije iz obnovljivih izvora energije te racionalna potrošnja, distribucija, pouzdanost, održavanje, ekonomičnost, stanje i razvoj, standardi i kvalitete, oprema i prateći softver objedinjuju pristup povećanju energetske efikasnosti energetskih postrojenja. Ipak korištenje obnovljivih izvora električne energije nije samo dovoljno za energetske održivost. Posljednjih nekoliko godina učestala je primjena fotonaponskih sustava u saobraćaju.

Područje primjene unutar domene saobraćaja objasnio bih na dostupnim primjerima:

- SIGNALIZACIJA: visoki stubovi, navigacija, sirene, željeznički signali, prometni znakovi, informacijske ploče;
- OSVJETLJAVANJE: javna rasvjeta, sigurnosna rasvjeta i
- TPS POZIVNI STUBOVI.

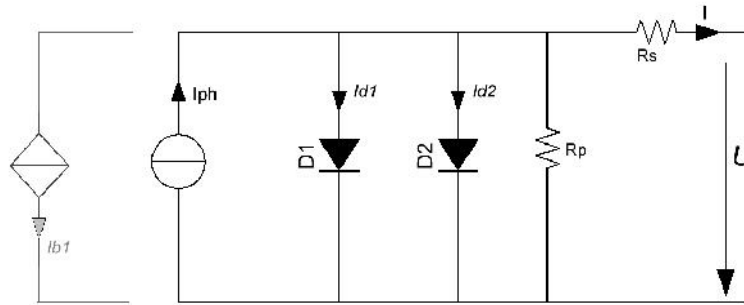
2. MODELI SOLARNIH ČELIJA

Iskoristivost fotonaponskih panela je u zavisnosti od njihove radne temperature. matematičko-elektronsku analizu strujno-naponskih karakteristika solarnih ćelija u primjeni su dva elektronska modela zasnovana na svjetlosno upravljanoj spojem (model A) ili sa dva $p-n$ spoja (model B). Struja ćelije I_{cl} za prvi model A data je u zavisnosti od napona ćelije V [1]:

$$I_{cl} = I_{ph}(E, T) - I_{S1}(T) \cdot \left(e^{\frac{V + I_{cl} \cdot R_s}{\eta_1 \cdot V_T}} - 1 \right) - \frac{V + I_{cl} \cdot R_s}{R_p} \quad (1)$$

pri čemu je $I_{ph}(E) = K_E \cdot E$, I_S inverzna struja zasićenja $p-n$ spoja, η korekcionni faktori $p-n$ spoja.

Pored toga više modela solarne ćelije sadrži paralelnu otpornost R_p i serijsku otpornost R_s .



Slika.1. Elektronski model solarne ćelije B

Struja ćelije I_{cII} prema drugom modelu B je:

$$I_{cII} = I_{ph}(E, T) - I_{S1}(T) \cdot \left(e^{\frac{V + I_{cII} \cdot R_s}{\eta_1 \cdot V_T}} - 1 \right) - I_{S2}(T) \cdot \left(e^{\frac{V + I_{cII} \cdot R_s}{\eta_2 \cdot V_T}} - 1 \right) - \frac{V + I_{cII} \cdot R_s}{R_p} \quad (2)$$

pri čemu su η_1 i η_2 korekcionni faktor.

Vidljiv je uticaj temperature na veći broj parametara kao što je temperaturni ekvivalent napona $V_T = T/11600$, te inverzna struja zasićenja I_S .

Temperaturna zavisnost inverzne struje zasićenja je data kao [3]:

$$I_S(T) = qA \left[\frac{D_n(T)}{L_n N_A} + \frac{D_p(T)}{L_p N_D} \right] \cdot C \cdot T^3 \cdot e^{-\frac{E_{go}}{k \cdot T}} \quad (3)$$

gdje je $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C, A – površina $p-n$ spoja, E_{go} energetski procjep na temperaturi apsolutne nule, D_n difuziona konstanta za elektrone, D_p difuziona konstanta za šupljine, L_n i L_p difuzione dužine za elektrone i šupljine, N_A i N_D koncentracija akceptora i donora.

Temperaturna zavisnost inverzne struje, može se opisati na temperaturi T_1 , kao:

$$I_S(T) = I_S(T_1) \cdot \left(\frac{T}{T_1}\right)^3 \cdot e^{-\frac{E_{go}}{k} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_1}\right)} \quad (4)$$

Takođe je temperaturno zavisna fotostruja I_{ph} koja je opisana kao u [2]:

$$I_{ph}(T) = I_{ph}(T_0) \cdot [1 + \alpha_{ph}(T - T_0)], \quad (5)$$

gdje je T_0 temperatura ambijenta dok temperaturni koeficijent iznosi: $\alpha_{ph} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$.

Za fotonaponski modul sa serijskom konekcijom N_s solarnih ćelija je dat [4,5]:

$$I_c = K_E \cdot E - I_S \left[\exp(qV_p / N_s \eta k T) - 1 \right]. \quad (6)$$

Aproksimativni izraz za struju solarne ćelije prema modelu A uz fotostruju koja je proporcionalna intenzitetu osvjjetljenja E datu sa $I_{ph}(E, T) = K_E \cdot E$, ($K_E = 0,0004 \text{ A/Wm}^2$), iznosi:

$$I_{co} = K_E \cdot E - I_S \left[e^{qV_c / \eta k T} - 1 \right] - \frac{V_c}{R_p} \quad (7)$$

3. ANALIZA SNAGE SOLARNE ĆELIJE

Snaga solarne ćelije u zavisnosti od temperature opisana je sa:

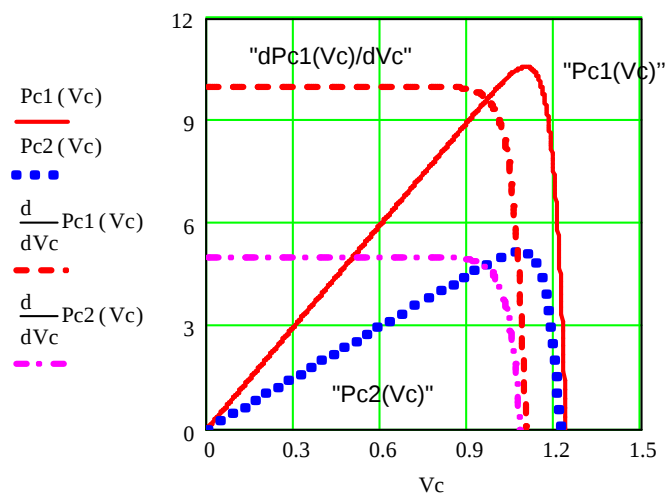
$$P_c = V_c \cdot \left[K_E \cdot E - I_S(T) \cdot (e^{\frac{qV_c}{\eta k T}} - 1) \right]. \quad (8)$$

Snaga solarne ćelije u funkciji od temperature data je sa:

$$P_c = V_c \cdot I_{ph}(T_0) \cdot [1 + \alpha_{ph}(T - T_0)] - V_c \cdot I_S(T_0) \cdot \left(\frac{T}{T_0}\right)^3 \cdot e^{-\frac{E_{go}}{k} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)} \cdot (e^{\frac{qV_c}{\eta k T}} - 1) \quad (9)$$

Ova relacija reprezentuje matematički model tipične solarne ćelije u fotonaponskom modulu. Sa promjenom temperature snaga se povećava do maksimalne vrijednosti. U toj korelaciji treba posmatrati struju kratkog spoja te napon praznog hoda.

Dat je dijagram promjene snage po naponu dP/dV raf zavisnost snage pri dvije vrijednosti intenziteta osvjjetl u funkciji od napona ćelije predstavljen je na sl. 2.



Slika.2. Zavisnost snage pri dvije vrijednosti intenziteta osvjetljenja i dP/dV u funkciji od napona ćelije.

Optimalna radna tačka je veoma bitna za rad fotonaponskog modula. Vrijednost faktora korekcija η određuje se prema uslovu dobijanja maksimalne snage: $\frac{dP_c}{dV_c} = 0$ pri struji kratkog spoja $I_{sc} = I_{ph}$ kada je napon optimalan $V_c = V_{c,opt}$ [6,7]. Tako se dobija da je, pri $I_S \ll I_{sc}$, relacija za struju prezentovana sa :

$$I_S \exp(qV_{c,opt} / \eta kT) = \eta kT (I_{sc} + I_S) / (\eta kT - qV_{c,opt}).$$

$$\eta = \frac{q}{kT} V_{c,opt} \left(1 - \frac{I_{sc}}{I_c} \right). \quad (10)$$

Na osnovu mjerenja i optimiziranja rezultata dobija se faktor $\eta = 1,587$.

4. EKSPERIMENTALNI REZULTATI

Za eksperimentalne rezultate i analizu temperaturnih zavisnosti strujno-naponskih karakteristika i karakteristika I korištene su rezultati simulink modela. Za eksperiment je korišten fotomodul (PV module) proizvodnje Solaris H250, Novigrad. Rezultati mjerenja su izvedeni uporedo na fiksnom i pokretnom sistemu uz sastavne elemente: modul H250, baterija SLA LP12-7.0, regulator punjenja Microlamp 4A i „Solar Tracker” uređaj za kontrolu ose istok-zapad.

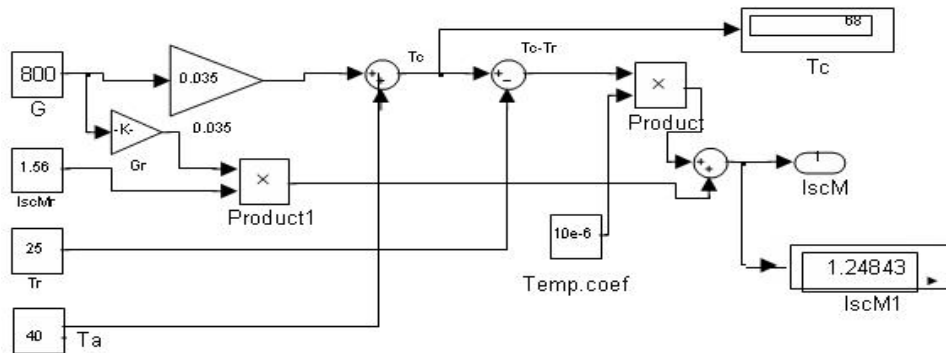
Vršna snaga (W_p)	25 W
Struja kratkog spoja (I_{sc})	1,56 A
Napon praznog hoda (V_{oc})	21,5 V
Napon maksimalne snage (V_{mp})	18 V
Struja maksimalne snage (I_{mp})	1,39 A

Matematička osnova modela PV modula za traženje tačke maksimalne snage (I_{mM} i V_{mM}) je data izrazima:

$$I_{mM} = I_{mMr} \cdot \frac{G}{G_r} + \left(\frac{dI_{scM}}{dT} \right) \cdot (T_c - T_r) \quad (11)$$

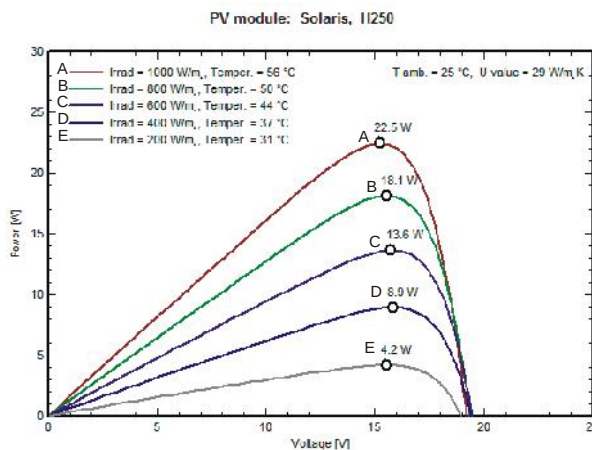
$$V_{mM} = N_s \cdot V_T \cdot \ln \left(1 + \frac{I_{scM} - I_{mM}}{I_{scM}} \cdot \left(e^{\frac{V_{ocM}}{N_s \cdot V_T}} - 1 \right) \right) - I_{mM} \cdot R_{sM} \quad (12)$$

Na osnovu jednačina (7) do (12) predložen je i realizovan model u Matlab/Simulink paketu, uz uobzirene uticaje intenziteta zračenja i temperature. Korišteni su osnovni podaci dati od strane proizvođača modula pri (STC Standard Test Condition: Modul tip H250 „Solaris“ Novi Grad, $I_{scM}=1,56A$, $V_{ocM}=21,5V$, $P_{max}=25W$, temperaturni koeficijent struje kratkog spoja $\alpha_{IscM}=10\mu A/^{\circ}C$ i temperaturni koeficijent napona otvorenog kola $\beta_{VocM}=-80mV/^{\circ}C$).

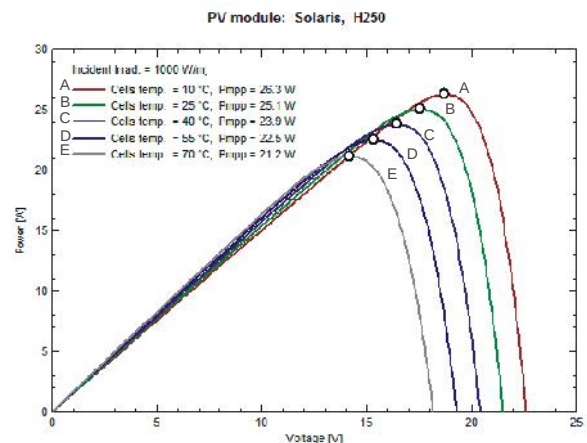


Slika. 3. Simulink model fotonaponskog modula H250

Pri promjeni temperature od 50 K, prema Slici 4, dolazi do smanjenja maksimalne snage za 3,2%/K, dok je promjena napona u istim tačkama $\Delta V/\Delta T = -3 \text{ mV/K}$.



Slika 4. Zavisnost snage od napona ćelije pri vrijednosti temperature u opsegu od 300 K do 350 K.



Slika 5. Zavisnost snage od temperature pri dvije vrijednosti foto struje $I_{ph}(T_0)=5 \text{ mA}$ i $I_{ph}(T_0)=10 \text{ mA}$.

Na Slici 4. prezentovani su simulacioni rezultati zavisnosti struje fotomodula od napona pri konstantnoj osvjetljenosti $1000W/m^2 = 1000W/m^2$ pri različitim temperaturama od $10^{\circ}C$ do $70^{\circ}C$ [6,7].

TABELA I

Incandescent house lamp	Ekserimentalni rezultati Si solarne ćelije A		
	$E [lx]$	$V_{oc} [mV]$	$I_{sc} [mA]$
1.	263	314,5	8,69
2.	333,40	337,9	11,50
3.	475,33	352,5	15,01
4.	634,29	367,3	17,89

TABELA II

	Ekserimentalni rezultati Si solarne ćelije B		
	$E [lx]$	$V_{oc} [mV]$	$I_{sc} [mA]$
1.	263	191,5	1,56
2.	333,40	195	1,63
3.	475,33	199,5	1,69
4.	634,29	212,7	2,06

Mjerenja su vršena pri različitim intenzitetima osvjetljenja što je predstavljeno u tabelama.

5. ZAKLJUČAK

Povećanje efikasnosti fotonaponskih sistema moguće je postići na više načina. U radu je opisan i korišten jedan od načina a to je održavanja stabilne temperature koristeći dodatna hlađenja sistema. Analiza strujno-naponskih karakteristika solarnih ćelija i fotomodula pokazuju da se maksimalna snaga smanjuje sa povećanjem temperature što ukazuje na potrebu održavanja stalne temperature koristeći dodatna hlađenja sistema. Povećanje efikasnosti fotonaponskih sistema moguće je postići krištenjem metoda praćenja trajektorije Sunca i podešavanja optimalnog položaja fotonaponskog modula kao i određivanja optimalnog ugla ftomodula. Optimiziranje efikasnosti solarnih sistema obuhvata posebne tehnološke konstrukcija, 3D Solar Cell koji omogućavaju High Efficiency Design to Produce 200% of the Power Output of Convencional Solar Cells.

Literatura

- [1] Ioannis-Thomas K. Theologitis: "Comparison of existing PV models and possible integration under EU grid specifications", Electric Power Systems Second Level Stockholm, XR-EE-ES 2011:011 Sweden 2011.
- [2] A. Stjepanovic, S. Stjepanovic, F.Softić, Z. Bundalo: "Photovoltaic power sources in small electric vehicles", ELECTROMOBILITY 2011, 1st International Electromobility Congress in Prague, 12.-15.5.2011. National Technical Library, Prague, Czech Republic, 2011.
- [3] André Mermoud, Thibault Lejeune: Performance Assessment Of a Simulation Model for PV Modules Of Any Available Technology, 25th European Photovoltaic Solar Energy Conference – Valencia, Spain, 6-10 September 2010.
- [4] J. Dixon, A. Zúñiga, A. Abusleme, D. Soto: "Battery Powered Electric Car Using Photovoltaic Cells Assistance". Research Projects in Electric Traction, Universidad Católica de Chile, Project Fondecyt N°1020982.
- [5] G. Walker, "Evaluating MPPT converter topologies using a MATLAB PV model," Journal of Electrical & Electronics Engineering, Australia, IEAust, vol.21, No. 1, 2001, pp.49-56.

- [6] M. Francisco., González-Longatt: “Model of Photovoltaic Module in Matlab™“, 2do Congreso Iberoamericano De Estudiantes De Ingeniería Eléctrica, Electrónica Y Computación -li Cibelec, 2005 .
- [7] “H250 Data sheet”, Solaris, Novigrad, Republic of Croatia, www.solaris-novigrad.hr
- [8] <http://www.pvsyst.com>