

ALGORITMI I NJIHOVA PRIMJENA U FOTONAPONSKIM SISTEMIMA ALGORITHMS AND THEIR APPLICATION IN THE PHOTOVOLTAIC SYSTEM

Aleksandar Stjepanović, Saobraćajni fakultet Doboj
Slađana Stjepanović, Telekom Srpske RJ Doboj
Ferid Softić, Elektrotehnički fakultet Banja Luka
Branko Blanuša, Elektrotehnički fakultet Banja Luka

Sadržaj - U radu je dat pregled algoritama koji se primjenjuju za kontrolu DC/DC pretvarača u svrhu maksimalnog iskorištenja proizvedene energije od strane fotonaponskog modula. Predstavljene su modeli urađeni u paketu Matlab sa poređenjem rezultata simulacije za različite načine upravljanja DC/DC pretvaračima. Kod proizvodnje električne energije putem fotonaponskih sistema postoji potreba za prilagođenjem rada fotonaponskog modula i potrošača. To se postiže pogodnim algoritima za upravljanje radom DC/DC pretvarača koji je ključni element fotonaponskog sistema. U radu su predstavljene modeli, te dati prijedlozi za njihovo poboljšanje.

Abstract – The paper gives an overview of algorithms that are applied to control DC / DC converters in order to achieve maximum utilization of energy produced by photovoltaic module. The presented models were made in comparison with the package Matlab simulation results for different ways to control DC / DC converters. In the production of electricity using photovoltaic systems there is a need for customization of photovoltaic module and consumers. This is achieved by appropriate algorithms to manage the work of DC / DC converter, which is a key element photovoltaic system. The paper introduced models, and give suggestions for their improvement.

1. UVOD

Solarni regulatori odnosno DC/DC pretvarači koriste se u svrhu povećanja efikasnosti fotonaponskog sistema, prilagođavajući izlazni napon fotonaponskog modula na napon potreban potrošaču odnosno bateriji. Postoji više tipova DC/DC regulatora od kojih se za potrebe autonomnih solarnih sistema najviše koriste (*step down* – *Buck Converters*) sa sniženjem izlaznog napona i (*step up* – *Boost Converters*) sa povećanjem izlaznog napona. Za maksimalni prenos snage od generatora ka opterećenju, glavni zadatak je ostvariti odgovarajući radni ciklus. Zadatak pretvarača je prilagođenje impedanse DC/DC regulatora i fotonaponskog modula tako da radna tačka fotonaponskog generatora bude u tački maksimalne izlazne snage.

U prvom dijelu se razmatra predloženi model DC/DC pretvarača i rezultati simulacije dobijeni Matlab/Simulink paketom.

U drugom dijelu su opisani algoritmi za upravljanje radnim ciklusom DC/DC regulatora .

1.2. MODELI DC/DC PRETVARAČA

Faktor popune se mijenja dok se ne dostigne potrebna vrijednost izlazne snage. Kod “Buck” pretvarača vrijedi da je [1]:

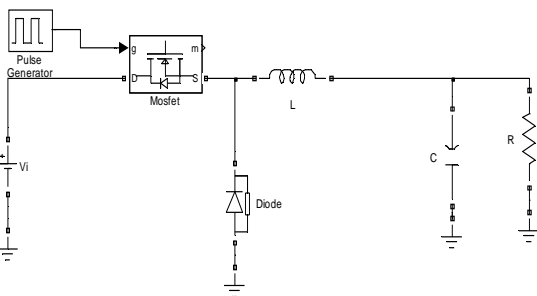
$$V_i = D \cdot V_o \quad (1)$$

gdje su: D radni ciklus DC/DC pretvarača, V_i izlazni napon pretvarača, V_o ulazni napon pretvarača.

Radni ciklus pretvarača definiše se kao odnos vremena uključenja prekidačkog tranzistora t_{on} u sklopu, i ukupnog vremena ciklusa t :

$$D = \frac{t_{on}}{t} \quad (2)$$

Za analizu DC/DC pretvarača u ovom radu je predložen osnovni model na slici 1. urađen u Matlab/Simulink[®] okruženju a njegov detaljniji izgled je prikazan na slici 2. Modelom je predstavljen solarni regulator koji je korišten u eksperimentu na kojem je vršeno mjerenje.

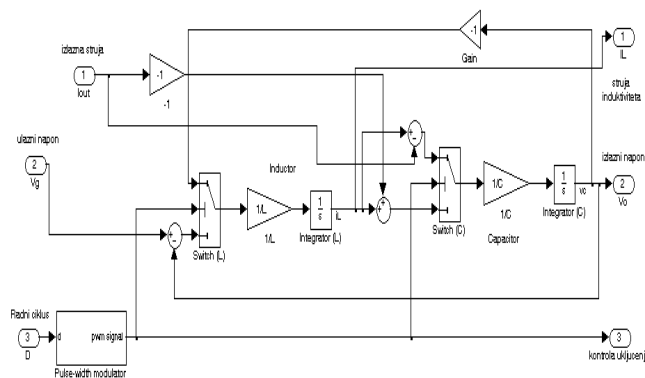


Slika 1. Model „Buck“ DC/DC pretvarača

Upravljanje veličinom izlaznog napona ostvaruje se djelovanjem na radni ciklus (faktor ispunje) pretvarača mijenjajući odnos vremena uključenja t_{on} tranzistora i ukupnog vremena t . Generator impulsa proizvodi pravougle impulse koji djeluju na gejt MOSFET tranzistora te time utiču na ciklus rada. Između induktiviteta L i kondenzatora C dolazi do razmjene energije. Vrijednost izlaznog napona određena je radnim ciklusom D . Za potrebe analize definisani su međusobni odnosi ulazne R_i i izlazne R_o impedanse:

$$R_o = D^2 \cdot R_i \quad (3)$$

Na osnovu modela sa slike 1. predložen je detaljan model „Buck“ DC/DC regulatora tip Microlamp 4A koji je korišten u eksperimentu :



Slika 2. Detaljan model „Buck“ DC/DC regulatora

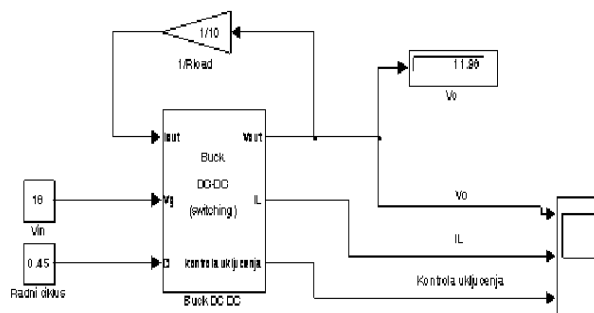
Regulator punjenja Microlamp 4A je uređaj realizovan u SMD tehnologiji sa MOSFET tranzistorima bez upotrebe releja. U stanju je optimalno pratiti energiju proizvedenu iz fotonaponskih modula za punjenje baterija. Regulator ima funkcije punjenja sa opcijom zaštite baterija od prepunjavanja. Takođe je ugrađena opcija za zaštitu baterije od prepražnjenja koje može dovesti do uništenja ćelija baterije (napon baterije nebi smio biti manji od 10,8V). Ugrađene su i funkcije zaštite od kratkog spoja i preopterećenja. Na ulazu u regulator sa strane fotonaponskog modula ugrađene su diode za zaštitu od povratnih struja tokom noći. Baterija radi u određenom opsegu napona između minimalnog i maksimalnog napona. Kada dođe do pražnjenja baterije ispod napona $V_{bat}=V_{min}$ ($V_{min}=10,8V$) dolazi do isključenja potrošača sve dok se baterija ponovo ne napuni na napon V_{min} . U slučaju prepunjavanja baterije, dolazi do isključenja fotonaponskog generatora sve dok se ne smanji napon na bateriji na napon $V_{bat}=V_{max}$. U tabeli 1.

prikazani su osnovni tehnički podaci solarnog regulatora Microlamp 4A.

TABELA I

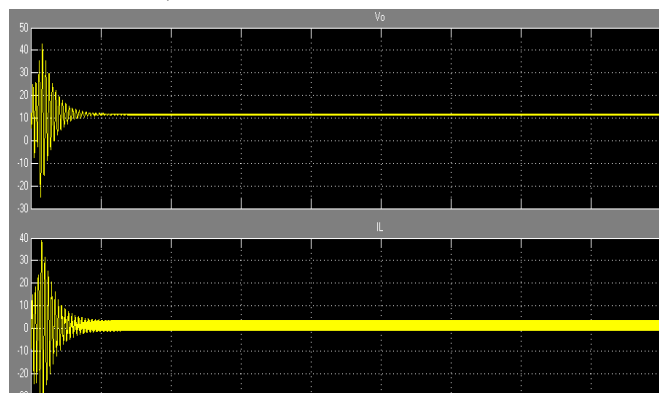
Nominalni radni napon	12V
Maksimalna ulazna struja	4A
Maksimalna izlazna struja	4A
Napon isključivanja potrošača	11,3V
Napon ponovnog uključenja potrošača	12,4V
Napon kraja punjenja	14,4V
Dimenzije	134x80x29.5mm
Težina	150g
Dozvoljena radna temperatura	-20 do +50 0C
Presjek kablova za spajanje	6mm ²
Autopotrošnja	6mA
Zaštita izlaza 12VDC	4A (elektronska)

Koristeći model sa slike 2. koji je definisan kao podsistem u Simulink editoru, predložen je sistem za simulaciju rada „Buck“ regulatora:



Slika 3. Model za simulaciju rada „Buck“ regulatora

Za eksperiment su korišteni fotonaponski modul tip H250 snage $P_{max}=25W$, napona otvorenog kola $V_{oc}=21,5V$, struje kratkog spoja $I_{sc}=1,56A$, uz potrošač otpornosti $R_o=10\Omega$ i DC/DC solarni regulator tip Microlamp 4A. Na slici 4. prikazan je rezultat za vrijednost ulaznog napona $V_m=18V$ (napon tačke maksimalne izlazne snage) i radnog ciklusa $D=0,45$. (Izlazni napon regulatora $V_o = 11,89V$ i struja induktiviteta I_L)



Slika 4. Rezultati simulacije za V_o i I_L

Vrijednost izlaznog napona je konstantna i iznosi 11,89V. Ukoliko je potrebna druga vrijednost izlaznog napona mijenja se radni ciklus D a time i izlazni napon V_o .

2.0. MPPT ALGORITMI (MPPT TRACKERS)

Postoji više različitih algoritama kojim se optimizuje prenos proizvedene energije od fotonaponskog modula do potrošača odnosno baterije. Traženje tačke maksimalne snage za radnu tačku fotonaponskog generatora predstavlja glavnu funkciju MPPT (*Maximum power point trackers*) kola.

Za rješavanje upravljanja DC/DC regulatorima razvijeni su različiti algoritmi:

- Uzbuditi i posmatrati (*Perturb and Observe*) [2]. Kod ovog algoritma dovodi se slaba pobuda u sistem. Ako zbog uzbude dođe do povećanja izlazne snage onda se nastavlja sa uzbudom u istom smjeru. Kada se dostigne maksimalna izlazna snaga, algoritam pokušava da zadrži rad uređaja u toj tački. Poznato je da dolazi do određenih gubitaka u praćenju maksimalne tačke izlazne snage kod naglih atmosferskih promjena.

- Povećanje provodnosti (*Incremental Conductance*) [3]. Mane P&O algoritma kod naglih atmosferskih promjena mogu se riješiti upotrebom algoritma „Povećanje provodnosti“. Maksimum izlazne snage je određen obrascem:

$$\frac{dP}{dV} = 0 \quad (4)$$

Na osnovu izraza (4) može se pisati:

$$\frac{dP}{dV} = I + V \cdot \frac{dI}{dV} \Rightarrow \frac{dI}{dV} = -\frac{I}{V} \quad (5)$$

Ukoliko se radna tačka nalazi desno od maksimuma onda vrijedi da je $dP/dV < 0$, a ukoliko je lijevo onda je $dP/dV > 0$.

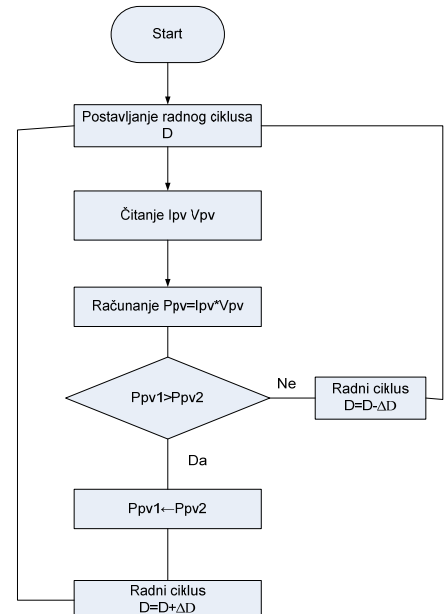
- Metoda parazitna kapacitivnost (*Parasitic Capacitance*). Mana ove metode je u tome što su vrijednosti parazitnih kapacitivnosti kod fotonaponskih modula vrlo male dok su ulazne kapacitivnosti DC/DC pretvarača vrlo velike. Zbog toga ova mala kapacitivnost biva zamaskirana. Prednosti ove metode su u primjeni kod većeg broja paralelno spojenih modula gdje parazitna kapacitivnost dolazi do izražaja.

- Metoda praćenja maksimalne izlazne snage na osnovu napona (*Voltage Based Peak Power Tracking*). Tačka maksimalne izlazne snage leži na 75% od vrijednosti napona otvorenog kola. Mjerenjem napona otvorenog kola i referentnog napona moguće je generisati napon pobude za kontrolu MPPT uređaja. Poteškoće koje se mogu javiti kod primjene ove metode je temperaturna zavisnost napona otvorenog kola i potreba da tokom mjerenja potrošač mora biti odspojen od sistema.

- Metoda praćenja maksimalne snage na osnovu struje (*Current Based peak power Tracking*) [4]. Tačka maksimalne snage leži na 90% od vrijednosti struje kratkog spoja. Mjerenjem ove struje i mjerenjem referentne struje iz modula moguće je dobiti signal za upravljanje MPPT uređajem. Kod ove metode poeškoću predstavlja potreba za snažnim otpornikom kroz koji se mjeri struja kratkog spoja. Takođe struja kratkog spoja se mijenja sa promjenom intenziteta zračenja Sunca. Promjene temperature okoline i intenziteta Sunčevog zračenja u direktnoj su vezi sa izlaznim veličinama generisanim od strane fotonaponskog modula. Da bi se smanjio uticaj ovih promjena potrebno je odrediti

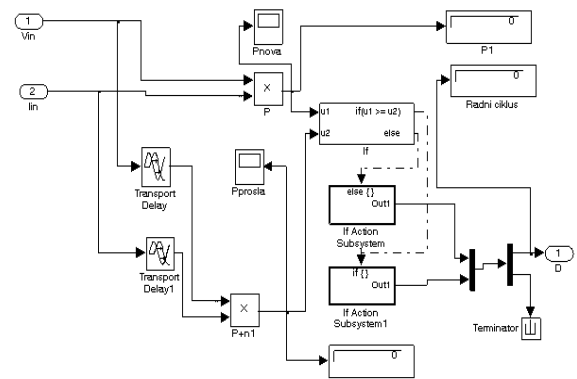
odgovarajuću kontrolu faktora popune DC/DC pretvarača. Najčešće korištena metoda je impulsno širinske modulacija (*PWM Pulse Width Modulation*) za kontrolu ciklusa rada.

Jedan od najčešće korištenih je algoritama je (P&O) čija je realizacija prikazana na blok šemi:



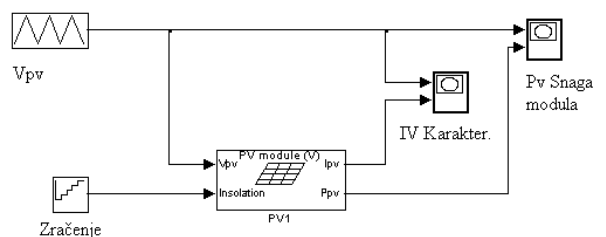
Slika 5. Algoritam P&O (*Perturb and Observe*)

Na osnovu prethodne blok šeme predložena je realizacija P&O algoritma u Simulink®:



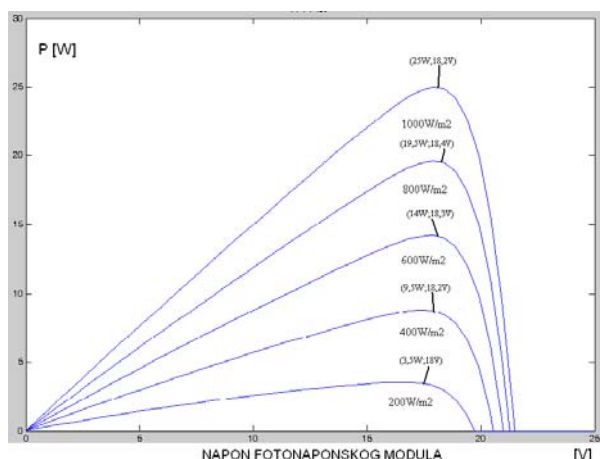
Slika 6. Realizacija P&O algoritma u Simulink paketu

Na osnovu podataka o fotonaponskom modulu dobijenih od proizvođača predložen je model fotonaponskog modula koji je sastavljen od 42 serijski spojene solarne ćelije. (*STC Standard Test Condition*-,Solaris“ tip modula H250, $P_{max}=25W$, $I_{sc}=1,56A$, $V_{oc}=21,5V$, $I_m=1,39A$, $V_m=18V$) za dobijanje IV i PV karakteristike za sledeće intenzitete zračenja ($200W/m^2$, 400 , 600 , 800 i $1000W/m^2$):



Slika 7. IV i PV karakteristike H250 modula

Na slici 8. prikazana je PV karakteristika sa vrijednostima snaga i napona u tačkama maksimuma izlazne snage dobijena simulacijom u Matlab/Simulink paketu.

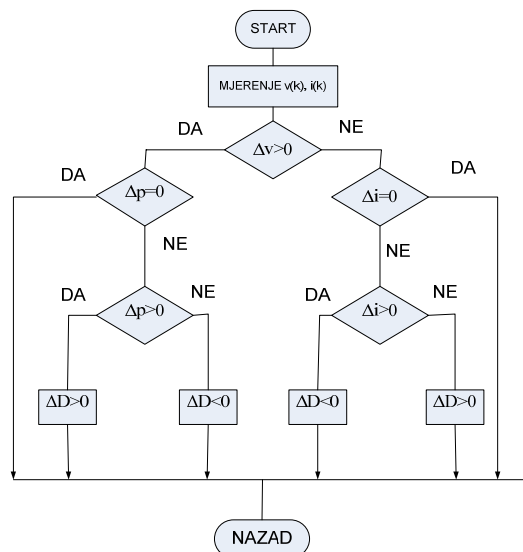


Slika 8. PV karakteristika sa tačkama maksimuma snaga

Familija IV karakteristika predstavlja zavisnost izlazne struje od napona na izlazu fotonaponskog modula pri različitim vrijednostima intenziteta Sunčevog zračenja [5]. Karakteristika je dobijena simulacijom fotonaponskog modula H250 u paketu Matlab/Simulink. Sa slike 8. vidi se da su izlazne karakteristike fotonaponskog modula u direktnoj zavisnosti od intenziteta zračenja.

2.1. ALGORITAM POVEĆANJA PROVDNOSTI

Rad P&O metode je zadovoljavajući u slučajevima postepene promjene intenziteta zračenja. Ukoliko se vrijednost zračenja naglo promjeni (usljed nailaska oblaka), može doći do greške u radu algoritma [6]. Da bi se donekle umanjio uticaj naglih atmosferskih promjena, naročito u intenzitetu zračenja, mnogo precizniji je algoritam „povećanja provodnosti“, (*Incremental Conductance*). Na osnovu obrazaca (4-7) može se definisati algoritma rada uređaja za upravljanje radnim ciklusom DC/DC regulatora.



Slika 9. Blok šema algoritma „Incremental Conductance“

3.0. ZAKLJUČAK

Algoritam P&O je popularan zbog svoje jednostavnosti, ali ima i nedostatake kod naglih klimatskih promjena, prvenstveno promjena u intenzitetu zračenja.

Poboljšanja se postižu upotrebom složenijih algoritama kao što je „povećanje provodnosti“ (*Incremental Conductance*) koji opet zbog svoje složenosti manje u upotrebi. Kombinovanje pomenutih metoda sa metodama praćenja kretanja Sunca, odnosno Zemlje postignuti su dobri rezultati u povećanju efikasnosti konverzije Sunčeve svjetlosti u električnu energiju.

Ova poboljšanja kreću se do 20% i više u odnosu na fiksne sisteme bez upotrebe solarnih regulatora a do 50% sa upotrebom solarnih regulatora i dobijena su eksperimentalnim mjerenjima.

LITERATURA

- [1] Branko L. Dokić, *Energetska elektronika, pretvarači i regulatori*, Akademska misao Beograd, Elektrotehnički fakultet Banja Luka 2007.
- [2] Nicola Femia, Member, IEEE, Giovanni Spagnuolo, Member, IEEE, and Massimo Vitelli, "Optimization of Perturb and Observe Maximum Power Point Tracking Method", IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 20, no 4, July 2005.
- [3] Anca D. Hansen, Poul Sorensen, Lars H. Hansen and Henri Binder, "Models for Stand-Alone PV System" Riso National Laboratory, Roskilde, December 2000.
- [4] Toshikiko Noguchi, and Hiroyuki Matsumoto, "Maximum-Power-Point Tracking Method of Photovoltaic Using Only Single Current Sensor", Toulouse, ISBN:90-75815-07-7, EPE 2003.
- [5] Aleksandar Stjepanović, Ferid Softić, "Analiza i modelovanje solarnih ćelija korištenjem Pspice programa", Infoteh-Jahorina, vol 8, Ref E-I-21, p. 441-444, Mart 2009.
- [6] Jae Ho Lee, HyunSu Bae and Bo Hyung Cho, "Advanced Incremental Conductance MPPT Algorithm with a Variable Step size, EPE-PEMC 2006, Portorož, Slovenia.