

PRORAČUN OSNOVNIH KOMPONENATA FOTONAPONSKOG SISTEMA NAPAJANJA

Nikola Rajaković¹, Dušan Nikolić², Zoran Nikolić³

SAŽETAK:

U radu je opisan postupak proračuna osnovnih komponenata fotonaponskog napajanja i funkcionisanje obnovljivih izvora u ostrvskom režimu rada. Prikazan je praktičan postupak proračuna osnovnih komponenata fotonaponskog sistema napajanja malih autonomnih mreža i malih potrošača sa maksimalnom ukupnom snagom nekoliko stotina W. Postupak je praktično proveren više puta i pokazao je zadovoljavajuću tačnost.

Ključne reči: *Energija solarnog zračenja, fotonaponska konverzija, solarno napajanje*

1. UVOD

Snaga električnog izvora kao i proračun osnovnih komponenata fotonaponskih sistema za „ostrvsko napajanje“, nekog objekta zavisi od procesa rada i života u objektu i navika ljudi koji tamo obitavaju, i praktično se određuje za svaki objekat pojedinačno. Izuzetno je važna tačnost pri dimenzionisanju izvora električne energije, koje se radi u procesu izrade energetskog bilansa [1]. Kako veličina sistema za proizvodnju električne energije direktno utiče na investicione i eksploatacione troškove, generalno se teži ugradnji sistema što manje snage. Ako se na objekat ugradi izvor manje snage nego što je potrebno, sistem neće moći da ispunji predviđene zadatke jer će tehničke karakteristike biti ispod zahtevanih. A ako se

¹ Prof. dr. Nikola Rajaković, Elektrotehnički fakultet u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, Beograd.

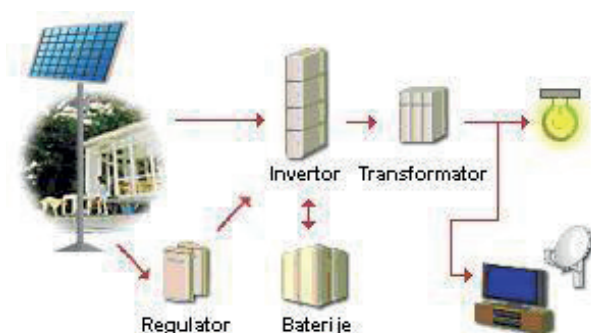
² Dušan Nikolić, Istraživač saradnik, Elektrotehnički fakultet u Beogradu, kralja Aleksandra 73, Beograd.

³ Zoran Nikolić, vanr. prof. Institut Goša, Milana Rakića 35, Beograd

snaga izvora predimenzioniše, ugradiće se skuplji uređaj većeg kapaciteta, sa većim održavanjem i cenom. Ovo se ne odnosi samo na fotonaponske module nego i na ostale uređaje koji prate ugradnju ovog izvora električne energije.

2. ENERGETSKE POTREBE KAO OSNOV ZA PRORAČUN FOTONAPONSKOG SISTEMA

Osnovne komponente fotonaponskog sistema prikazane su na slici 1. To su uglavnom fotonaponski paneli, akumulatorska baterija, regulator punjenja i inverter.



Slika 1. „Ostrvski sistem napajanja” solarnom energijom malih potrošača

Snaga izvora električne energije određuje se dva puta, i to: prvi put kada je potrebno da se odredi orijentaciona snaga izvora električne energije i drugi put kada se ta veličina proračunski određuje. Prilikom orijentacionog određivanja snage izvora, koriste se uglavnom empirijski podaci sa već izvedenih objekata slične namene [2].

Bilans električne energije se mora napraviti radi određivanja snage i broja električnih izvora i posebno radi skladišta električne energije (akumulatorskih baterija) [3]. Za ovo je potrebno određeno iskustvo jer ima dosta empirijskih postupaka posebno u izboru određenih korekcionih faktora.

Ukupna snaga koju neki elektromotor uzima iz mreže u eksploatacionim uslovima, treba se umanjiti prema stvarnom opterećenju radne mašine. Odnos između potrebne snage elektromotora i njegove stvarne snage se naziva koeficijentom opterećenja motora i obeležava se sa k_o .

Često se ugrađuje više potrošača koji obavljaju istu ili sličnu namenu. Potrebno je poznavati rad svih uređaja, navike ljudi, kao i sve uslove kada se koristi ovaj

sistem da bi se odredio broj istorodnih potrošača koji su uključeni istovremeno. Taj podatak se unosi u bilans kao koeficijent istovremenosti k_t .

Radi preglednosti svi podaci se sređuju tabelarno i pri tome se vodi računa da se grupišu potrošači slične namene. Tako, na primer, u istu grupu stavljaju se potrošači jedne prostorne celine ili potrošači koji su vezani za rad neke celine. Svi uređaji u jednoj grupi neće raditi u isto vreme i zbog toga se uvodi srednji koeficijent grupe potrošača k_{sr} za određeni režim rada potrošača.

U tom cilju se i definišu pojedini režimi rada energetskog sistema kao što su dan, noć, leto, zima. Za svaki režim rada prvo se odrede svi potrošači koji učestvuju u opterećenju električnog izvora u tom režimu, a zatim se proceni stvarno opterećenje električnog izvora koje stvara ta grupa potrošača. Ova procena se vrši uvođenjem srednjeg koeficijenta režima k_{sr} za svaki režim rada pojedinačno.

Na poseban zahtev mogu se razmotriti i posebni režimi rada kao što je režim rada za vreme požara, ili drugih havarija koje utiču na sigurnost objekta pri radu alternativnih izvora električne energije. Mogu se razmatrati i neki drugi režimi rada u skladu sa namenom i svrhom objekta.

Na kraju se uzimaju u obzir sve grupe potrošača koje učestvuju u tom režimu i odredi se opterećenje izvora u tom režimu rada na isti način kao kod grupe potrošača, uvođenjem srednjeg koeficijenta k_{sr} za sve potrošače.

Kada se na ovaj način obrade svi mogući režimi rada, dobija se podatak koliko iznosi maksimalno moguće opterećenje u pojedinim slučajevima i na osnovu toga se donosi odluka o veličini izvora električne energije u objektu.

Prilikom definitivnog izbora snage pojedinih izvora mora se voditi računa o odnosu između snage najvećeg potrošača i snage izvora. Za ovaj odnos nema nekog pouzdanog kriterijuma, nego se to mora proveravati za svaki slučaj posebno jer to zavisi od karakteristika kako elektromotora tako i snage uređaja ili određenog pretvarača. Pri normalnom radu, snaga izvora električne energije treba da bude dovoljna za pokretanje najvećeg potrošača, pri čemu ne sme doći do nekontrolisanog isključenja ostalih električnih uređaja, niti do pojave bilo kakvih smetnji u njihovom radu. Mada na svakom objektu postoje posebni potrošači električne energije, veliki elektromotorni potrošači su uglavnom frižideri i zamrzivači, dok su ostali potrošači manjih snaga.

3. PRAKTIČAN METOD ZA PRORAČUN ENERGETSKIH POTREBA

Energetske potrebe (Ep) zavise od letnjih ili zimskih uslova, tako da je potrebno napraviti proračun za oba vremenska perioda i u svakom slučaju zadovoljiti stroži. Pored toga, potrebno je odrediti i maksimalnu snagu dnevnog opterećenja kao i udarne ili polazne struje, prvenstveno invertora. Energetske potrebe

mogu se odrediti na osnovu nominalnih snaga potrošača i njihovog dnevnog vremena rada.

$$E_p = \int_0^T \frac{P_{DCi} \cdot t_i}{h_i} + \int_0^T \frac{P_{ACi} \cdot t_i}{h_i} \quad (1)$$

Češće se koristi praktična jednačina za koju je napravljena i podrška u smislu praktičnih tabela za popunjavanje:

$$E_p = \sum_{i=1}^n \frac{P_{DCi} \cdot t_i}{h_i} + \sum_{i=1}^n \frac{P_{ACi} \cdot t_i}{h_i} \quad (2)$$

Više svetskih firmi koje prodaju fotonaponske module ili sisteme [4, 5] prikazali su uglavnom slične praktične proračune za određivanje osnovnih komponenta fotonaponskog sistema.

Nezavisno se prave tabele električnog opterećenja za jednosmerni sistem napajanja. Napravi se spisak potrošača i odredi se instalisana snaga objekta. Potom se odredi korisna snaga potrošača sa prosečnim trajanjem opterećenja da bi se dobila ukupna srednja potrebna dnevna energija u jednosmernoj mreži.

Postupak se ponovi za naizmenični sistem napajanja i na kraju se formira tabela ukupnog električnog opterećenja.

4. AKUMULATORSE BATERIJE

Poznato je da se najviše električne energije dobija iz solarnih panela onda kada se najmanje koristi, a da se najviše troši kada se ne proizvodi. Zbog toga je potrebno da postoji neko skladište ili rezervoar „električne energije„. Za solarne aplikacije razvijene su posebne, solarne akumulatorske baterije, koje su u stvari stacionarne olovne baterije sa smanjenim iznosom samopražnjenja. Uglavnom se za ovu primenu koriste akumulatori sa gelom ili sa kiselinom bez održavanja.

Tabela ukupnog opterećenja za letnji i zimski period predstavlja osnov za odabir akumulatorske baterije. Primenjuje se stroži uslov. Potrebno je predvideti i prevazilaženje perioda bez sunčevog dopunjavanja. U ovome je potrebno imati u vidu da je leti uglavnom veća potrošnja energije, ali da zimi postoji mogućnost manjeg dopunjavanja akumulatorskih baterija.

U principu se praktičan proračun pravi tako da je potrebno predvideti 3 do 7 dana rezerve bez sunčevog zračenja. To znači da je potrebno da u akumulatorskim baterijama postoji solidna rezerva električne energije koja bi pokrivala ovaj period ili višednevnu potrebnu energiju za napajanje potrošača.

Ne treba prevideti činjenicu da se potpunim pražnjenjem akumulatorske baterije izuzetno smanjuje njen vek trajanja i da je potrebno isključiti potrošnju kada se akumulatorska baterija isprazni oko 80%, tako da je potrebno kapacitet akumulatorskih baterije definisati prema akumuliranoj energiji koja je za 25% veća.

Napon akumulatorskih baterija uglavnom se određuje na osnovu empirijskog obrasca:

$$U \approx I \approx \sqrt{P_{\max}}$$

Gde je P_{\max} – maksimalna jedovremena snaga koju baterije daju. Najčešće se primenjuju standardni naponi 12 ili 24 V jer su za njih razvijeni potrošači i mogu se naći na tržištu. Za napajanje snažnijih potrošača ili potrošača na većoj distanci koji se ne mogu napajati sa ovih naponskih nivoa, potrebno je postaviti pretvarače koji jednosmeran napon 12 ili 24 V transformišu u naizmeničan.

Potreban kapacitet akumulatorskih baterija može se naći iz potrebne, prethodno određene energije i odabranog, standardnog napona akumulatorskih baterija.

$$Q = \frac{E_{ab}}{U} \quad (\text{Ah}) \quad (3)$$

gde je E_{ab} – uskladištena potrebna energija u akumulatorskim baterijama (Wh).

Za solarne primene, na samom kućištu akumulatora potrebno je postaviti dvopolne osigurače. Uz akumulatorske baterije ugrađuju se i regulatori punjenja akumulatorskih baterija, koji treba da kontrolisanom strujom iz fotonaponskih panela, koja zavisi od intenziteta sunčevog zračenja, dopunjavaju akumulatorske baterije. Svaki regulator treba da ima mogućnost provere struje i napona punjenja.

5. ENERGIJA SUNČEVOG ZRAČENJA

Fluks sunčeve energije izvan zemljine atmosfere koji pada na jedinicu površine normalnu na upadni snop zračenja predstavlja „solarnu konstantu”. Ova „solarna konstanta” definiše se kao iznos solarne energije primljene od Sunca po jedinici površine na distanci jedne astronomske jedinice (srednje distance Zemljine orbite od Sunca) i iznosi $P_{\text{smax}} = 1367 \text{ W/m}^2$, što je površinska snaga Sunčevog zračenja izvan Zemljine atmosfere [6]. Maksimalna snaga sunčevog zračenja koje pada na horizontalnu površinu zemlje iznosi oko 1000 W/m^2 , i to samo kada se Sunce nalazi u zenitu. Sunčevu snagu karakterišu: maksimalna snaga, srednja dnevna snaga i srednja dnevna energija.

Dopunjavanje akumulatorskih baterija obavlja sistem solarnih panela. Potrebno je da solarni kolektori obezbede veću dnevnu energiju od one koja je potrebna tokom dana.

Podaci o srednjem sunčanom zračenju na određenim lokacijama se uglavnom dobijaju višegodišnjim merenjima. I u našim standardima postoje propisi za ova zračenja. Specifična energija sunčevog zračenja (Wh/m^2) meri se kontinuelno tako da postoje višegodišnji podaci za određene lokacije u našoj zemlji, a i na cejoj zemljinoj površini.

Da bi se odredila srednja dnevna vrednost celokupnog zračenja na zemljinoj površini, vrednosti u procentima osunčanosti, očitane sa određene karte treba pomnožiti sa odgovarajućom vrednošću srednje dnevne vrednosti vanatmosferskog celokupnog zračenja navedenu kao funkciju geografske širine.

6. FOTONAPONSKI KOLEKTORI

Globalno zračenje je zbir direktnog, reflektovanog i difuznog zračenja. Srednje globalno sunčevo zračenje u januaru iznosi u našim krajevima oko $1.450 Wh/m^2$, dok u junu, srednje globalno sunčevo zračenje u našim krajevima iznosi oko $6.500 Wh/m^2$. Direktno zračenje iznosi oko 80% globalnog. Podrazumeva se da je u pitanju ravan pločasti solarni panel [7].

U cilju dobijanja maksimalne osunčanosti, solarni paneli se pod određenim uglom orijentišu ka jugu, sa što manjim odstupanjem. Vreme najvećeg uticaja je od 9 do 15 h. Zavisnost ugla nagiba solarnog panela prema horizontali, za pretežno zimske uslove korišćenja, iznosi oko 60° , a za pretežno letnje uslove korišćenja iznosi oko 30° . Ukoliko se solarni paneli koriste ravnomerno tokom cele godine, potrebno ih je postaviti pod uglom od 40° do 45° .

Postavljanjem panela pod određenim uglom u odnosu na površinu zemlje, da bi im efikasnost bila veća, navedeni iznosi se mogu dosta uvećati. Korišćenjem nosača panela sa podesivim uglom, povećanje srednjeg intenziteta dnevnog sunčevog zračenja koje pada na panele u letnjem periodu može se povećati i za 40%, a u zimskom i do 60%. Pošto stepen iskorišćenja solarnih monokristalnih kolektora iznosi oko $\eta = 15\%$ [8], teorijski proračun pokazuje da u zimskom i letnjem periodu proizvedene energije po jedinici površine iznose:

$$E_Z = \eta \cdot K_{zimi} \cdot \omega_{zimi} = 0,15 \cdot 1,60 \cdot 1,450 = 348 Wh/m^2 \quad (4)$$

$$E_L = \eta \cdot K_{leti} \cdot \omega_{leti} = 0,15 \cdot 1,40 \cdot 6,500 = 1,365 Wh/m^2 \quad (5)$$

Površina solarnih panela bi trebalo da je tolika da tokom dana obezbedi dovoljno energije koja je barem za 50% veća od maksimalne potrošnje. Optimalna

površina fotonaponskih kolektora za zimski režim rada (u najvećem broju primena kritičniji slučaj), može se izračunati na osnovu jednačine:

$$S = E_{zimi} / E_z \text{ (m}^2\text{)} \quad (6)$$

E_{zimi} – sumarna energija električnog opterećenja za zimski period.

7. ZAKLJUČAK

Ovaj rad je napravljen da bi se pomoglo oko praktičnog proračuna komponentata i projektovanja autonomnih sistema fotonaponskog napajanja. Mada u svetu postoje veliki sistemi koji su povezani sa elektrodistributivnom mrežom [9], kod nas se za sada primenjuju samo manji autonomni sistemi koji napajaju autonomnu mrežu ili služe za napajanje u nuždi. Objašnjen je postupak od pravljenja energetskog bilansa radi ukupnih energetskih potreba, proračuna osnovnih podataka o skladištu električne energije, regulatoru punjenja, kao i o proračunu površine fotonaponskih panela. Pokazan je praktičan proračun koji je proveren više puta u praksi i koji je primenjen na Svetoj Gori [10], kao i na nekim objektima u Beogradu kao što je Policijski plovni pristan na Savi.

8. LITERATURA

- [1] D. Nikolić, *Obnovljivi izvori energije na Svetoj Gori kao primer ostrvskog sistema*, Diplomski rad, Elektrotehnički fakultet, Beograd 2006, p 31-40.
- [2] Z. Nikolić, M. Pucar, P. Dakić, *Obnovljivi izvori energije na Svetoj Gori*, Zbornik radova sa naučnog skupa: Alternativni izvori energije i budućnost njihove primjene, Podgorica, CANU vol. 77, Odjeljenje prirodnih nauka vol. 10, 2006, p 109-116.
- [3] S. Vujošević, *Primjena fotonaponskih sistema u decentralizovanom snabdijevanju električnom energijom*, Zbornik radova sa naučnog skupa Alternativni izvori energije i budućnost njihove primjene, Podgorica, CANU vol. 77, Odjeljenje prirodnih nauka vol. 10, 2006, p. 79-84.
- [4] www.solarenergy.com
- [5] www.siemenssolar.com/facts.html
- [6] B. Sørensen, *Renewable Energy*, Elsevier Science, 2004, p. 29-55.
- [7] M. Lambić, *Priručnik za solarno i klasično grejanje*, Naučna knjiga, Beograd, 1983, p. 8-21.
- [8] Johhanes Bernreuter, *Breaking out of the niche*, Sun and wind energy, No 1, 2007. p. 92-106,
- [9] <http://www.pvresources.com/en/top50pv.php>
- [10] Z. Nikolić, J. Vasiljević, S. Škrnjug, V. Šiljkut, *Elektrifikacija manastira Hilandara i doprinos Elektrodistribucije – Beograd*, Elektrodistribucija, Beograd, vol. 28, No. 2, 2000, p. 147-160.

PHOTOVOLTAIC POWER SUPPLY BASIC COMPONENTS CALCULATION

ABSTRACT:

This paper presents practical calculation method for basic components of photovoltaic supply and functioning of isolated systems of renewable energy sources. This method includes photovoltaic supply of small of grid systems and small consumers, with total power of several hundred watts. This method has been practically verified on numerous occasions and showed satisfying accuracy.

Key words: solar radiation energy, photovoltaic conversion, solar supply