

ORGANIZACIJA I NAČIN FUNKCIONISANJA SOLARNE ELEKTRANE

Dragan Brajović¹, Nemanja Stojanović¹

REZIME

Sunce predstavlja izvor energije sa kojim u manjoj ili većoj meri raspolaže svaka površina na zemlji. Od izbijanja velike svetske energetske krize 1973. godine sve veća pažnja se poklanja korišćenju energije Sunčevog zračenja za proizvodnju toplotne i električne energije čime se doprinosi i smanjenju emisije gasova staklene bašte.

Poslednjih godina u svetu se povećavaju ulaganja u istraživanja u oblasti fotonaponske konverzije sunčeve energije u električnu. Postavljeni ciljevi su dobijanje što kvalitetnijih i jeftinijih solarnih ćelija, kao i drugih komponenata fotonaponskih sistema. U svetu je sve veći broj kompanija i organizacija koje učestvuju u promociji, razvoju i proizvodnji fotonaponskih sistema. Do sada je u svetu izgrađen veliki broj solarnih elektrana snaga od 1 kW do nekoliko stotina MW.

Ključne reči: solarna energija, solarna ćelija, fotonaponski sistem, elektrana.

ORGANIZATION AND MODE OF FUNCTIONALITY OF THE SOLAR POWER PLANT

ABSTRACT

The sun is a source of energy that, to a greater or lesser extent, every surface on earth has at its disposal. Since the outbreak of the great global energy crisis in 1973, more and more attention has been paid to the use of solar energy for the production of heat and electricity, which contributes to the reduction of greenhouse gas emissions.

In recent years, worldwide investments in research in the field of photovoltaic conversion of solar energy into electricity have been increasing. The set goals are to obtain the highest quality and cheapest solar cells, as well as other components of photovoltaic systems. There is an increasing number of companies and organizations in the world that participate in the promotion, development and production of photovoltaic systems. So far, a large number of solar power plants have been built in the world, from 1 kW to several hundred MW.

Key words: solar energy, solar cell, photovoltaic system, power plant.

1. UVOD

Zabrinutost naučno-tehničkog sveta od sve osetnijih klimatskih promena uzrokovanih zagađenjem globalnih razmera, ali i velika težnja većine država da budu sve nezavisnije od strane energetske sila, dovode do sve većeg ulaganja u nekonvencionalne izvore električne energije, zbog kojih se iskorišćavaju prirodni resursi koji su odvojeni od fosilnih goriva. Ovakvi izvori omogućavaju proizvodnju energije na mestima gde su fosilna goriva teško dostupna ili se obezbeđuju iz uvoza, a takođe značajno smanjuju emisiju ugljen-dioksida (CO_2).

U najznačajniji obnovljivi izvor energije spada Sunce koje skoro pet milijardi godina pokreće i održava život na Zemlji. Pored neposrednog zagrevanja Zemljine površine, Sunčevo zračenje dovodi do stalnog obnavljanja energije vetra, morskih struja i talasa, vodenih tokova i termalnog gradijenta u okeanima. Sunce predstavlja izvor energije sa kojim, u manjoj ili većoj meri, raspolaže svaka zemlja u svetu.

¹ Fakultet tehničkih nauka Čačak, Svetog Save 65, Čačak

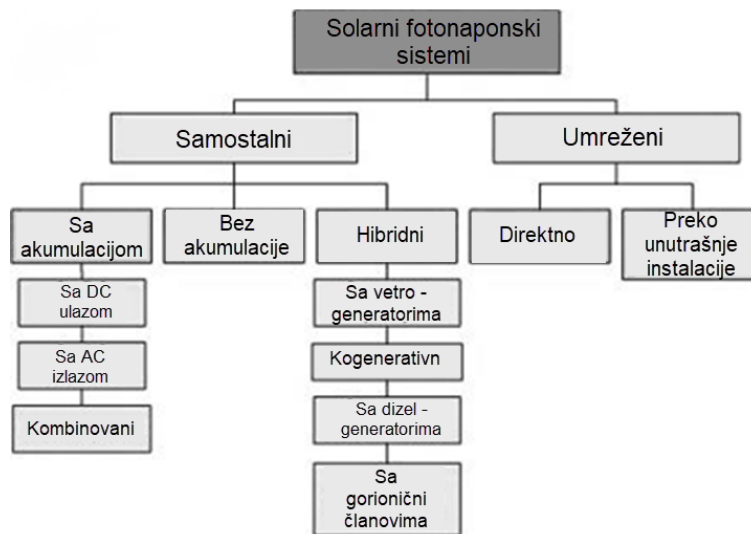
Poslednjih godina, u svetu se povećavaju ulaganja u istraživanja u oblasti fotonaponske konverzije Sunčevog zračenja, u cilju dobijanja što kvalitetnijih i jeftinijih solarnih ćelija i drugih komponenata fotonaponskih sistema.

U ovom radu biće objašnjen način na koji se dobija električna energija iz Sunčeve, koji su to delovi solarne elektrane i kako se formira jedan fotonaponski sistem.

2. FOTONAPONSKI SISTEMI

Solarni fotonaponski sistemi (engl. *solar photovoltaic systems*) su sistemi koji uz pomoć sunčeve energije generišu električnu energiju, pretvaraju je u pogodan oblik, ili je skladište, a zatim je predaju potrošačima, bilo da su oni pojedinačni, bilo da su potrošačke grupe.

Ovakvi sistemi se mogu podeliti u dve velike grupe. U prvu grupu spadaju sistemi koji nisu povezani sa distributivnim i prenosnim mrežama. U drugu grupu spadaju sistemi koji su priključeni na mrežu, pa ih možemo nazvati umreženim sistemima.

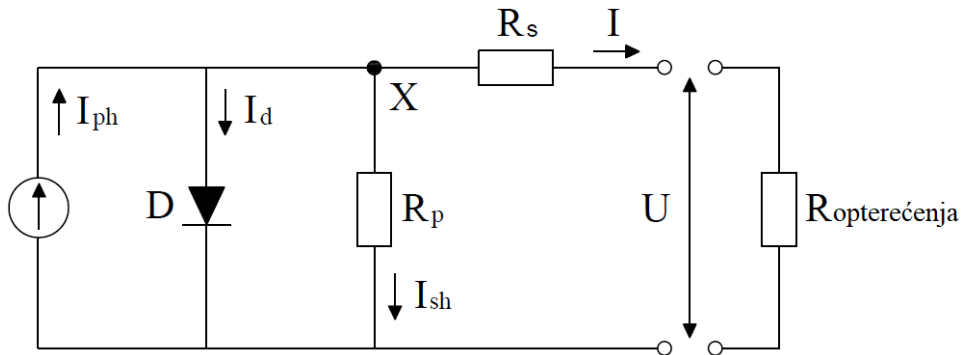


Slika 1: Podela solarnih fotonaponskih sistema

Samostalni fotonaponski sistemi se uglavnom javljaju u tri oblika. Sistemi sa akumulacijom su takvi da obavezno poseduju akumulatorske baterije sa punjačima. Ovakve konstrukcije se uglavnom primenjuju na mestima koja su udaljena od distributivnih električnih mreža. Mogu imati izlaz sa jednosmernom strujom, sa naizmeničnom (u ovom slučaju obavezan deo sistema je i inverter), a mogu biti i kombinovani, odnosno mogu napajati potrošače i jednosmerne i naizmenične struje. Sistemi bez akumulacije su takvi da direktno predaju energiju potrošačima. Ovo je povoljno na mestima gde nije potrebna kontinualna potrošnja električne energije tokom svih 24 sata jednog dana. U noćnim satima nema napajanja potrošača, a već u večernjim satima proizvodnja polako prestaje. Hibridni fotonaponski sistemi se mogu smatrati budućim primatima u lokalnoj proizvodnji električne energije. Oni predstavljaju kombinaciju solarnog sistema sa drugim izvorima, kao što su dizel-agregati ili vetrogeneratori.

2.1. Ekvivalentna šema solarne ćelije

Ekvivalentna šema solarne ćelije data je na slici. Sa osvetljavanjem ćelije, ona generiše elektromotornu silu, i ako su njeni kontakti spojeni preko potrošača, kroz njega će proteći struja I , koja predstavlja razliku struja I_{ph} i I_d .



Slika 2: Ekvivalentna šema solarne ćelije

Iz ekvivalentnog kola sledi da je izlazna struja jednaka:

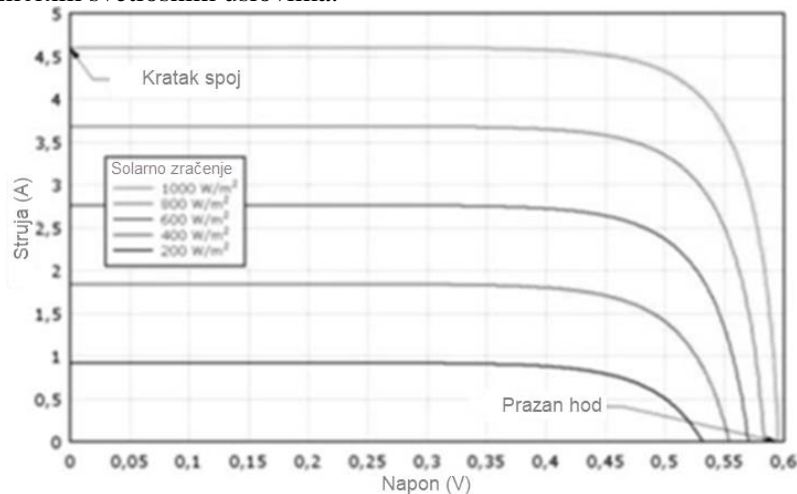
$$I = I_s - I_0 \left(e^{\frac{qU_{ok}}{kT}} - 1 \right) - \frac{U_{ok}}{R_p} \quad (1)$$

gde je:

- I_0 – inverzna struja zasićenja diode,
- $q = 1,6 \cdot 10^{-19} [C]$ – naelektrisanje elektrona,
- $k = 1,379 \cdot 10^{-23} \left[\frac{W_s}{K} \right]$ – Boltzmann-ova konstanta,
- T – apsolutna temperatura,
- $U_{ok} = U + I \cdot R_s$ – napon otvorenog kola ćelija.

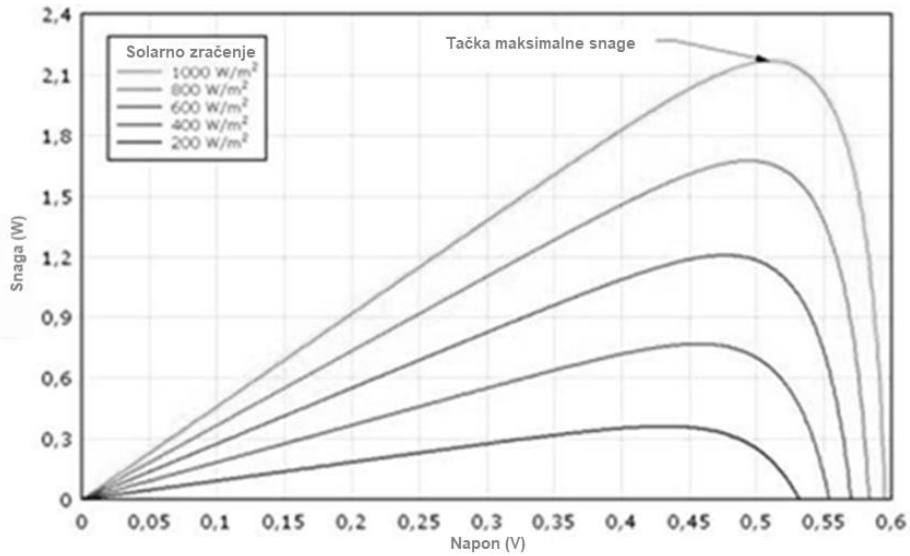
2.2. Grafik strujno-naponske karakteristike

Grafici solarne ćelije predstavljaju zavisnosti struje, odnosno snage od napona na krajevima solarne ćelije. Na graficima su dati i primeri kako temperatura utiče na rad solarne ćelije, kao i pojedine karakteristike sa različitim svetlosnim uslovima.



Slika 3: Strujno-naponska (IU) karakteristika solarne ćelije

Slika 3 daje prikaz strujno-naponske karakteristike solarne ćelije. Na dijagramu su dati struja kratkog spoja i napon praznog hoda. Struja na izlazu solarne ćelije direktno je srazmerna snazi Sunčevog zračenja po jedinici površine.

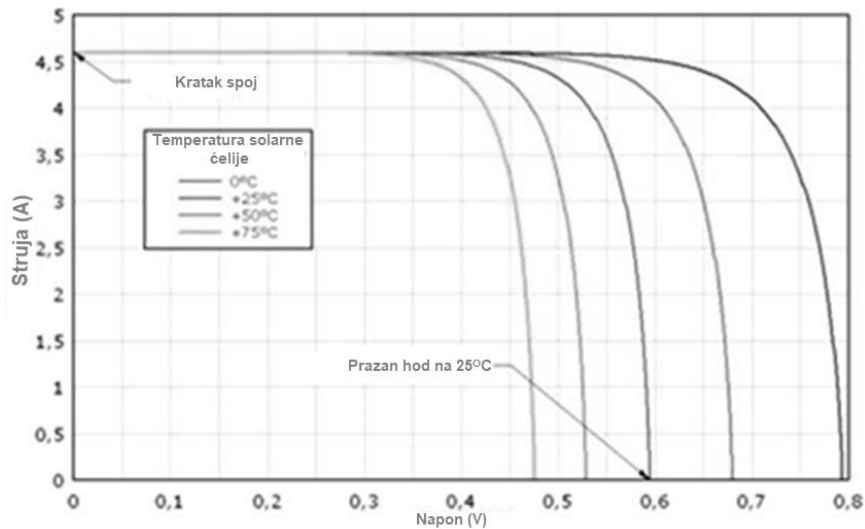


Slika 4: Zavisnost snage od napona solarne ćelije

Karakteristika na slici 4 predstavlja zavisnost snage od napona. Ova karakteristika je drugi vid strujno-naponske karakteristike, pošto je snaga ćelije određena izrazom:

$$P = UI_z = U(I_f - I_z e^{U/kT} + I_z) \quad (2)$$

Na ovoj karakteristici lakše se očitava tačka maksimalne snage (*maximum power point*), koja je bitna za rad invertora. Ova tačka je proizvod maksimalne struje i napona u datom trenutku i zavisi od snage zračenja.



Slika 5: Strujno-naponska karakteristika u zavisnosti od temperature

Na slici 5 data je zavisnost rada solarne ćelije od temperature. Na niskim temperaturama ćelija je u stanju da generiše značajno veću elektromotornu silu. Pošto ćelija nema hlađenje, ovo bi moglo da dođe do izražaja zimi, međutim zimi je manje sunčevih zraka pod odgovarajućim uglom, pa ova karakteristika ćelija ne dolazi do velikog izražaja u zimskom periodu.

2.3. Parametri solarne ćelije

Kada se solarna ćelija ispituje, najvažniji parametar je njena elektromotorna sila, odnosno napon na njenim priključcima kada na ćeliju nije prikačeno opterećenje. Ovo je slučaj kada je struja $I=0$.

$$U_{ph} = \frac{kT}{e} \ln\left(\frac{I_f}{I_z} + 1\right) \quad (3)$$

Struja kratkog spoja je struja koja teče kroz ćeliju u slučaju kada su njeni krajevi spojeni provodnikom zanemarljivo male otpornosti.

$$I_{ks} = I_f \quad (4)$$

Karakteristična otpornost solarne ćelije je količnik napona praznog hoda i struje kratkog spoja:

$$R_k = \frac{U_{ph}}{I_{ks}} \quad (5)$$

Stepen iskorišćenja solarne ćelije dat je izrazom:

$$\eta = \frac{P_m}{GA} = \frac{I_m U_m}{GA} \quad (6)$$

gde je:

P_m - maksimalna snaga solarne ćelije (W),

I_m - maksimalna struja (A),

U_m - maksimalni napon (V),

G - ukupno Sunčevo zračenje (W / m^2),

A - površina ćelije (m^2).

Stepen iskorišćenja solarne ćelije na bazi monokristalnog silicijuma je do 18%.

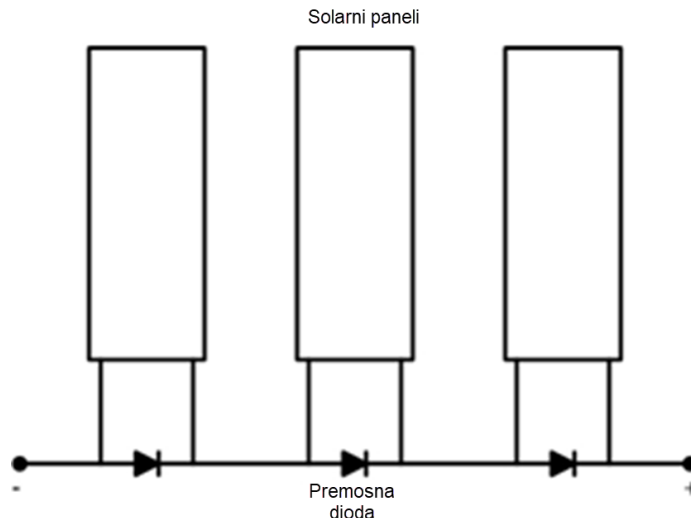
Još jedna bitna karakteristika solarnih ćelija je faktor punjenja F_f (engl. *fillfactor*). Ovo je veličina koja opisuje nelinearno ponašanje solarne ćelije pri datim spoljnim faktorima, a određen je odnosom:

$$F_f = \frac{U_m I_m}{U_{ph} I_{ks}} \quad (7)$$

2.4 Povezivanje solarnih ćelija i panela

Solarne ćelije se mogu vezivati serijski i paralelno, a moguća je i kombinacija ova dva načina, kako bi se dobio panel sa odgovarajućim izlaznim naponom i strujom.

Slično ćelijama, paneli se mogu vezivati serijski ili paralelno, međutim obično se vezuju serijski i to na način prikazan na slici



Slika 6: Serijsko vezivanje panela sa prenosnim diodama

Prenosne diode (engl. *bypass diode*) se koriste kako bi se izbeglo pregrevanje najlošijih ćelija u pojedinačnim panelima koje bi u toku dana mogle doći u senku, a usled toga mogu početi da se ponašaju kao diode sa suprotnim prednaponom, dok se ostale ćelije ponašaju kao generatori.

Napon jednog panela zavisi od načina vezivanja solarnih ćelija. Ukoliko je u pitanju serijska veza, dobija se da je napon jednog panela:

$$U_{1p} = N_c U_c \quad (8)$$

gde je:

U_{1p} - napon panela,

N_c - broj ćelija u panelu,

U_c - napon jedne ćelije.

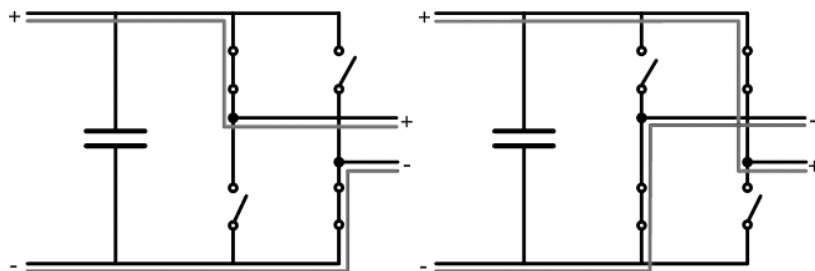
2.5 Invertor

U fotonaponskim sistemima koji su vezani na mrežu, invertor je potrebn elektronski deo koji se nalazi između nizova panela i mreže (engl. *grid-tie inverters*). On je centar sistema koji pretvara jednosmerni napon u naizmjenični, sinhronizuje ga sa mrežom. U ovom delu dat je princip rada invertora I dato objašnjenje uloge invertora u praćenju tačke maksimalne snage (*MPPT* sistem).

2.5.1 Princip rada invertora

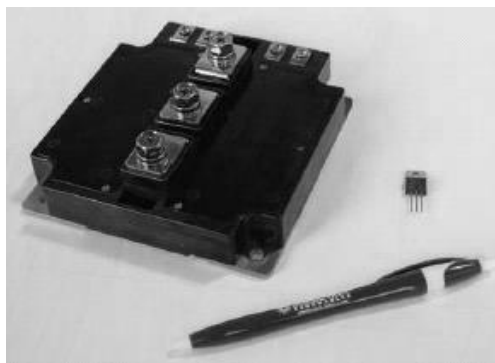
Kao što je rečeno, osnovna uloga invertora je da uzimaju energiju od solarnih panela i menjaju je u pogodan oblik, kako bi mogli da je pohrane u mrežu.

Glavni prekidački deo invertora počiva na energetskejoj elektronici i kod invertora većih snaga to su snažni poluprovodnički uređaji - *MOSFET*-ovi i *IGBT*-i. Ovi prekidački uređaji omogućavaju pretvaranje jednosmernog napona u naizmjenični. Njihov princip rada dat je šematskim prikazom na slici.



Slika 7: Princip pretvaranja jednosmernog napona u naizmienični uz pomoć MOSFET-a i IGBT-a

Princip stvaranja naizmieničnog napona je vrlo jednostavan. U vremenu trajanja jedne poluperiode prekidački uređaj je podešen tako da se pozitivan napon prenosi preko gornjeg levog i donjeg desnog prekidača, dok se u slučaju druge periode ovaj prenos obavlja preko donjeg levog i gornjeg desnog prekidača. Ovaj napon nije pogodan za prenos u mrežu, jer je impulsnog pravougaonog oblika, pa je potreban proces filtriranja koji stvara sinusoidni oblik napona. Primer prekidačkih uređaja su dati na slici.



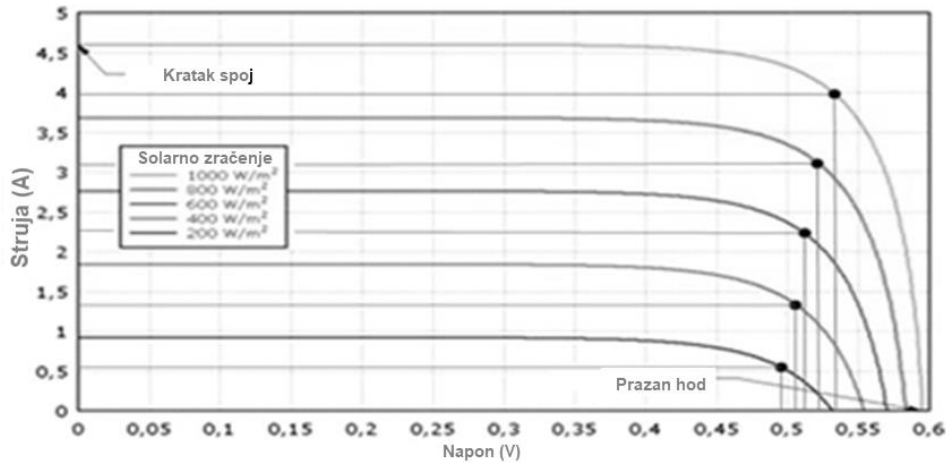
Slika 8: Prekidački uređaji za invertore; veći sa leve strane je IGBT 1200V 600A, dok je manji MOSFET 800V 20A

Jedna od glavnih osobina invertora je i mogućnost isključenja sistema kada dolazi do anomalija u mreži. Ovo se dešava u tri glavna slučaja:

- pojava nesimetričnog opterećenja; inverter ima podešenu minimalnu vrednost napona. Kada se napon mreže spusti ispod ove vrednosti u jednoj fazi, inverter isključuje napajanje mreže;
- nestanak mrežnog napona; u ovom slučaju, inverter sprečava nastanak *ostrva*, odnosno pojavu da se deo mreže napaja iz solarnog sistema.
- pojava nagle promene frekvencije; ova pojava može dovesti do nesinhronizma, pa se mogu javiti i struje usled faznih pomaka između napona mreže i napona invertora.

2.5.2 MPPT sistem

Sistem za praćenje tačke maksimalne snage (*MPPT* sistem, engl. *maximum power point tracking*) omogućava inverteru da izvlači najveću moguću snagu iz solarnih panela u datom trenutku. Solarne ćelije imaju, kako je već objašnjeno, kompleksan odnos između Sunčevog zračenja, temperature i unutrašnjeg otpora, pa se na izlazu dobija nelinearni rast i opadanje napona, što se vidi sa strujno-naponske karakteristike.



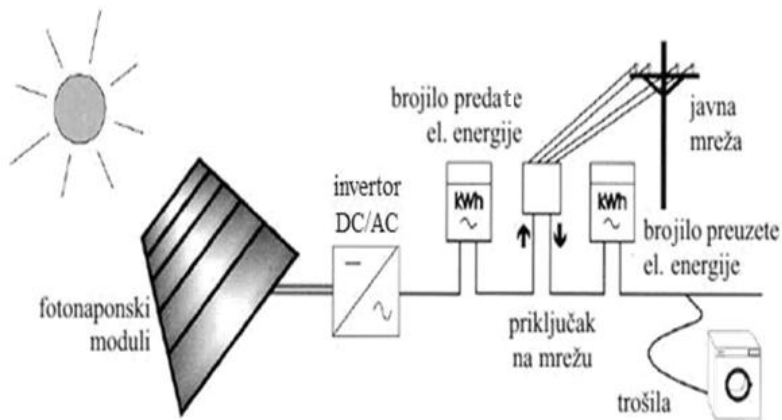
Slika 9: Različite radne tačke koje traži MPPT sistem

Za svaku kombinaciju spoljnih faktora, kao što je dozračen energija Sunca i temperatura, ćelija ima radnu tačku u kojoj je snaga opterećenja maksimalna, a to znači da postoji uslov:

$$P_m = U_m I_m \quad (9)$$

3. SOLARNE ELEKTRANE U EES-u

Najveći problem u eksploataciji solarnih elektrana je velika zavisnost rada od vremenskih uslova. Ukoliko se u jednom elektroenergetskom sistemu integriše veći broj solarnih elektrana, može doći do problema u električnoj mreži. Problem se odnosi na veliku proizvodnju u toku letnjih dana bogatih sunčevom energijom kada može biti proizvedena velika količina električne energije i perioda nastanka nagle oblačnosti koje prati letnje nevreme, kada može doći do naglog pada proizvodnje. Ovu brzu promenu moraju da nadoknade velike elektrane u sistemu, jer u suprotnom može doći i do toga da mreža ispadne iz sinhronizma. Jedno od rešenja koje se već primenjuje u elektroenergetskim sistemima nekih država (SAD) je gradnja akumulatorskih baterija velikih kapaciteta. Energija se u ovakve baterije skladišti iz vetro i solarnih generatora, a koristi se u momentima vršne potrošnje.



Slika 10: Priključak fotonaponskog sistema na javnu mrežu

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu predstavljen je proces rada solarnih elektrana sa kratkim osvrtom na princip rada njenih fundamentalnih delova.

Dat je kratak opis osnovne problematike vezane za implementaciju ovih izvora u elektroenergetski sistem i to sa dva aspekta: aspekt vezan za mesto ugradnje solarne elektrane (lokalni uticaj) i aspekt vezan za globalni uticaj ovih izvora na elektroenergetski sistem. Poznato je da solarne elektrane imaju i pozitivan i negativan uticaj na rad distributivne mreže.

Energija sunca je bitan energetska potencijal u Republici Srbiji, koji se još uvek nedovoljno koristi. Prosečno sunčevo zračenje u Srbiji je za oko 40% veće od evropskog proseka što daje dobre mogućnosti izgradnje i integracije većeg broja solarnih elektrana u elektroenergetski sistem.

5. LITERATURA

- [1] М. Ламбић, Н. Павловић, И. Тасић, Д. Стојићевеић, *Соларна енергетика*, Србија Солар, Зрењанин, 2006.
- [2] Правила о раду дистрибутивног система електричне енергије привредног друштва за дистрибуцију електричне енергије "Електродистрибуција-Београд" д.о.о. Београд ("Сл.гласник РС", бр.40/2014)
- [3] Ж.Ђуришић,Ј.Микуловић,Скрипте из предмета "Обновљиви извори енергије", Електротехнички факултет у Београду,2009.
- [4] С. Стојковић, *Утицај микро хидроелектрана на струје кратких спојева у дистрибутивној мрежи*, стручни рад, Електропривреда – часопис заједнице југословенске електропривреде, Београд, 2006.
- [5] *Техничка препорука бр. 16 – Основни технички захтеви за пикључење малих електрана на мрежу електродистрибуције Србије*, ЈП Електропривреда Србије, Београд, 2003.
- [6] Н. Ђерег, З. Калмар Крнајски Јовић, И. Апостол, *Обновљиви извори енергије у Србији – препоруке, потенцијали и критеријуми*, Центар за екологију и одрживи развој, Суботица, 2008.
- [7] *Kostal Piko inverters – Installation and Operation*, Kostal, Freiburg 2010.
- [8] <http://www.seea.gov.rs> – сајт Агенције за енергетску ефикасност Републике Србије
- [9] Процена ефикасности улагања у сектор обновљивих енергија, Блажен Минић, Тематски зборник радова – Економска политика и развој, Економски факултет у Београду,2011.
- [10] Анализа утицаја прикљученог фотонапонског система од 30 kW на мрежу нискогнапона, група аутора, ЦИГРЕ Србија, 05-08 јун, 2017, Златибор
- [11] Стратегија развоја енергетике Републике Србије до 2025. године са пројекцијама до2030. године („Сл. гласник РС“ бр. 101/15).