

FOTONAPONSKI SUSTAV S PRAĆENJEM POZICIJE SUNCA

PHOTOVOLTAIC SYSTEM WITH SUN TRACKING

Tomislav Odak¹, Ivor Marković², Tomislav Novak², Zvonimir Meštrović³

¹Tehničko veleučilište u Zagrebu, Vrbik 8, 10000 Zagreb, Student

²Tehničko veleučilište u Zagrebu, Vrbik 8, 10000 Zagreb

³Končar - Institut za elektrotehniku d.d., projektant, Zagreb, Hrvatska

Sažetak

U ovom radu opisan je rad fotonaponskih sustava koji prate kretanje sunca te tipovi fotonaponskih panela. Rad tematizira teorijsku usporedbu proizvodnje električne energije fiksnih i pokretnih fotonaponskih panela. U svrhu lakšeg razumijevanja fotonaponskih sustava objašnjen je princip proizvodnje električne energije te je prikazan i laboratorijski postav na kojem se testirao program za praćenje. Radi dodatnog razumijevanja logike rada programa opisani su sami dijelovi programa, metode rada te princip rada Arduino mikroupravljača.

Ključne riječi: fotonaponski sustav, pokretni fotonaponski sustav, fotonaponski panel, Arduino sustav upravljanja, solarni suncokret

Abstract

This paper describes the working mechanism of photovoltaic systems which follow the movements of the sun and types of photovoltaic panels. This paper also shows the theoretical comparative study of electrical energy production using fixed and mobile photovoltaic panels. For the purposes of clearer understanding of photovoltaic systems, this paper also clarifies the principles of electrical energy production and shows laboratory settings and mechanisms used for testing the tracking program. For further understanding of logic behind the functioning of the aforementioned program, the integral parts of the program have been described as well as the working methods behind Arduino microcontroller.

Keywords: photovoltaic system, mobile photovoltaic system, photovoltaic panel, Arduino controlling system, solar sunflower

1. Uvod

1. Introduction

Ukupna energija na Zemlji potječe iz tri izvora; sunčeve, geotermalne i gravitacijske energije. Sunce predstavlja neiscrpan izvor energije koji se u današnje vrijeme i uz današnja tehnološka dostignuća može iskorištavati za proizvodnju električne energije, a da se pritom ne šteti okolišu. Proizvodnja električne energije iz obnovljivih izvora energije danas postupno postaje konkurentna energiji proizvedenoj iz drugih izvora. Prednost obnovljivih izvora energije prije svega leži u tome što nemaju nikakav štetan utjecaj na okoliš. Znanstvenici smatraju da će u budućnosti energija sunca i energija vjetra postati glavni proizvođači električne energije. Kao što je prethodno navedeno, sunce čovječanstvu predstavlja neiscrpan izvor energije, koji je po veličini najveći, ali istodobno i najmanje korišteni izvor.

Početak razvoja proizvodnje električne energije započinje otkrićem fotonaponskog efekta 1839. godine. Prva solarna ćelija napravljena je 1941. godine sa iskoristivošću od 1%, dok je 1954. godine tadašnja ćelija imala iskoristivost veću od 5%. Prva komercijalna solarna ćelija puštena je u prodaju 1958. godine te je od tada pa sve do danas tehnologija za proizvodnju fotonaponskih ćelija napredovala u tolikoj mjeri da sadašnje fotonaponske ćelije imaju iskoristivost i do 22%.

Sunce nam je potrebno za samu proizvodnju električne energije, premda postoji više načina iskorištavanja sunca kao izvora. U današnje se vrijeme učestalo postavlja pitanje instalacije fiksnih fotonaponskih sustava ili instalacije sustava koji imaju mogućnost praćenja sunca, odnosno sustava za učinkovitije iskorištavanje

u velikoj mjeri dostupne sunčeve energije. Upravo je glavna tema rada izrada i upravljanje sustavom za praćenje sunca u svrhu iskorištavanja njegove energije te usporedba i isticanje njegovih prednosti i povećane efikasnosti u odnosu na fiksni sustav iskorištavanja sunčeve energije

2. Općenito o fotonaponskim panelima

2. About photovoltaic panels

Kad se solarna (sunčana) ćelija osvjetli, odnosno kada apsorbira sunčevo zračenje, fotonaponskim efektom na njezinim krajevima pojavljuje se elektromotorna sila (napon), čime solarna ćelija postaje izvor električne energije.

Fotonaponski efekt

Riječ je o efektu koji omogućuje poluvodičkim materijalima da pod utjecajem sunčeva zračenja postaju izvori električne energije. Fotonaponski efekt također omogućava elektronima da postanu slobodni nosioci električnog naboja, a otkrio ga je Edmond Becquerel 1839. godine kada je dvije ploče platine i zlata uronio u kiselinu te izložio sunčevu zračenju. Godine 1921. njemački fizičar Albert Einstein objavljuje znanstveni dokaz fotonaponskog efekta, te dobiva Nobelovu nagradu za fiziku.

Emitirana Sunčeva energija prema Zemlji može se promatrati kao skup fotona osnovnih nosioca energije. Energija koju prenose fotoni u snopu svjetlosti predočena je Einsteinovom relacijom(1):

$$E = h * v = h * \frac{c_0}{\lambda} \quad (1)$$

Gdje je:

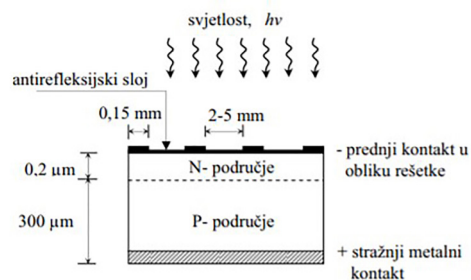
h – Planckova konstanta, ($6,625 * 10^{-34}$ Js)

v – frekvencija promatranog elektromagnetskog zračenja, 1/s

c_0 – brzina svjetlosti, ($3 * 10^8$ m/s)

λ – valna duljina

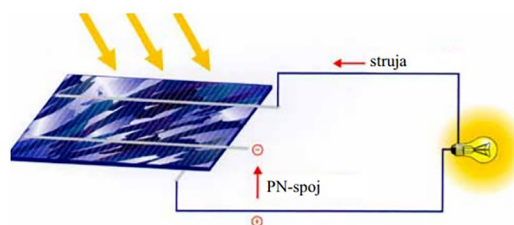
Na slici (1) prikazana je silicijeva solarna ćelija. Osvjetljavanjem solarne ćelije na njenim krajevima se dobiva elektromotorna sila.



Slika 1: Silicijeva solarna ćelija

Figure 1: Silicon solar cell

Kontakt na području P radi gibanja elektrona i šupljina postaje pozitivan, dok kontakt na području N postaje negativan, što je prikazano na slici (2).



Slika 2: Solarna ćelija kao izvor električne energije [1]

Figure 2: Solar cell as source of electrical energy [1]

Tipovi fotonaponskih panela

Fotonaponski paneli u osnovi se dijele na tri vrste:

Monokristalni $\eta = 15 - 20\%$

Polikristalni $\eta = 13 - 16\%$

Tanki film $\eta = 7 - 10\%$

Glavna razlika navedenih panela krije se u načinu njihove proizvodnje. Razvoj tehnologije u posljednjem desetljeću značajno je napredovao što se tiče proizvodnje solarnih ćelija. Osnovni materijal sa 98% udjela u proizvodnji poluvodičkih komponenti je Silicij.

3. Snaga i energija fotonaponskog sustava, fiksni i pokretni sustav

3. Power and energy of the photovoltaic panel, the fixed and mobile system

Izračun snage i energije fotonaponskog panela ovisi o energiji sunca koja dolazi na Zemlju. Što se proračuna snage tiče, izuzetno je važna gustoća snage emitiranog sunčevog zračenja koja se označava slovom G te se mjeri u kW/m^2 .

Prema svjetskoj meteorološkoj organizaciji WMO, gustoća snage sunčevog zračenja na vanjskom rubu atmosfere iznosi 1367W/m^2 , dok sama snaga iznosi $1,75 \cdot 10^{14}\text{ kW}$, što ukupno daje $1,53 \cdot 10^{18}\text{ kWh}$ godišnje energije.

Energija koja dolazi do zemlje računa se po izrazu(2):[1]

$$W_{zuk} = 1367 * R_z^2 * \pi \quad (2)$$

Kako bi se dobila srednja energija na ukupnoj površini Zemlje potrebno je podijeliti izraz (2) sa ukupnom površinom Zemlje:

$$W_{zsr} = \frac{1367 * R_z^2 * \pi}{4 * R_z^2 * \pi} = 342\text{W/m}^2 \quad (3)$$

Snaga i energija fotonaponskih panela računa se po sljedećim izrazima:

$$P = G * \eta * A \text{ [W]} \quad (4)$$

$$W = H_p * \eta * A \quad (5)$$

Gdje je:

P – proizvedena snaga uz poznato ozračenje

A – aktivna površina

η – stupanj korisnosti određenog panela

H_p – insolacija

Fotonaponski paneli testiraju se u kontroliranim temperaturnim uvjetima uz poznato ozračenje (engl. Standard Test Conditions, STC)[6]:

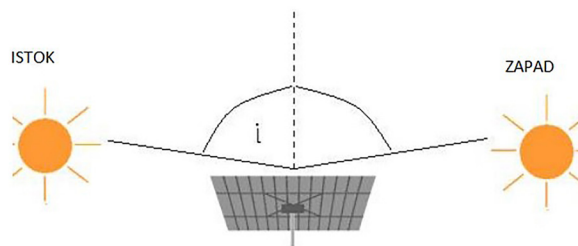
ozračenje iznosi 1000W/m^2

temperatura iznosi 25°C

Fiksni sustav

Pod pojmom fiksni sustav podrazumijeva se FN sustav koji je postavljen na određenu lokaciju pod optimalnim kutom te nema mogućnost pomicanja aktivne površine. Takav panel usporedbi sa suncem predstavlja stacionarnu točku. Teoretski prikaz okretanja sunca oko panela prikazan je na slici (3).

Izračun snage i energije fiksnog sustava ovisi o upadnom kutu sunca. Što je upadni kut sunca i veći, kao što prikazuje Slika (3), rastu i gubitci proizvedene snage. U tablici (1) također je prikazan i odnos snage prema upadnom kutu.



Slika 3: Fiksni sustav

Figure 3: Fixed system

Fiksni sustav će u području $\pm 30^\circ$ raditi sa gubitkom od $\approx 14\%$. Ukoliko je upadni kut veći od $\pm 30^\circ$ gubitci se naglo povećavaju. Prilikom kuta od $\pm 75^\circ$ gubitci su veći od 75% te se kao zaključak nameće da će fiksni panel prilikom izlaska i zalaska uz konstantnu snagu sunčeva zračenja ukupno proizvesti 25% energije. Kut od $\pm 23.4^\circ$ označava ukupnu putanju sunca ovisno o ekvatoru, odnosno ljetnog i zimskog razdoblja naspram stacionarne točke panela.

Tablica 1 Gubitak snage u odnosu na kut upada

Table 1 Loss of power in correlation to angle

i	Gubitak $= 1 - \cos(i)$	i	Vrijeme (h)	Gubitak $= 1 - \cos(i)$
0°	0%	15°	1	3.4%
1°	0.0015%	30°	2	13.4%
3°	0.14%	45°	3	30%
8°	1%	60°	4	>50%
23.4°	8.3%	75°	5	>75%

Uz pretpostavku da prosječni dan traje 10 sati i da na fiksnom panelu dostupna konstantna snaga sunčeva zračenja dobiva se izračun iskorištene snage i energije:

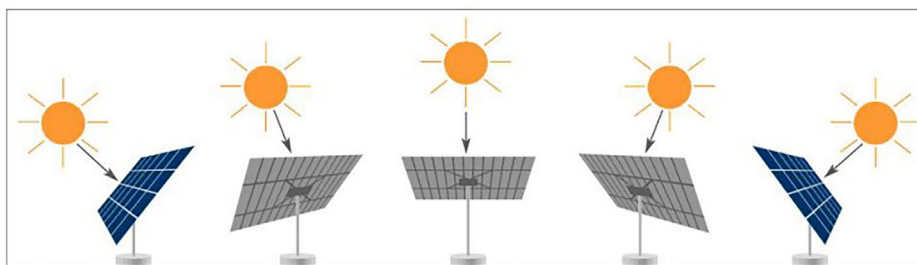
$$P_{uk} \approx \left(1 - \frac{\eta_{uk}}{t_{dana}}\right) * P_{dostupno} \approx 0.65P_{dostupno} \quad (6)$$

$$W_{uk} = 0.65P_{uk} * t = 0.65W_{uk} \quad (7)$$

Uračuna li se pritom i maksimalni kut upada pri izlasku i zalasku fiksni panel približno iskoristi $55\text{-}65\%$ omogućene energije.

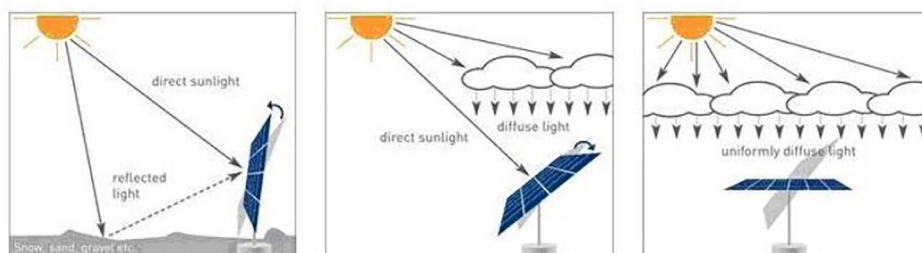
Pokretni sustav

Sustavi koji služe za praćenje sunca imaju, za razliku od fiksnih sustava, putanju kojoj je površina panela okomita naspram sunca, sukladno prikazanom na Slici (4).



Slika 4: Putanja panela u odnosu na sunce

Figure 4: Path of the panel in correlation to sun



Slika 5: Postavljanje panela u horizontalni položaj

Figure 5: Setting of panel into horizontal position

Panel koji je korišten u ovom radu ima dvoosnu putanju sa mogućim hodom $\pm 90^\circ$ horizontalno i 90° vertikalno. Kolokvijalni naziv 'solarni suncokreti' ovi su paneli zaslužili usred očigledne usporedbe sa cvijetom suncokretom koji prema vlastitom prirodnom bioritmu dosljedno prati sunce od njegova izlaska pa sve do zalaska.

'Solarni suncokreti' ili paneli za praćenje sunca usporedbi s fiksnim panelima imaju veću iskoristivost snage koju sunce emitira na Zemlju. 'Suncokreti' također imaju i mogućnost vertikalnog i horizontalnog pomicanja te postavljanje u horizontalni položaj u slučaju naoblake, kao što je moguće primijetiti na Slici (5). Zbog spomenute mogućnosti postavljanja u horizontalni položaj paneli imaju veću iskoristivost difuzne svjetlosti naspram fiksnih panela. Prilikom naoblake smanjuju se direktna i reflektirajuća komponenta zračenja energije te se povećava difuzno zračenje.

Gubitci zbog upadnog kuta sunca prikazani u Tablici (3-1) u ovom slučaju ne vrijede. Iz istog razloga paneli za praćenje sunca u odnosu na fiksne panele iskoristavaju 35-40% više raspoložive energije koju sunce emitira na Zemlju. Snaga koju panel može iskoristiti jednaka je snazi koju panel ima na raspolaganju.

$$P_{uk} = P_{dostupno} \quad (8)$$

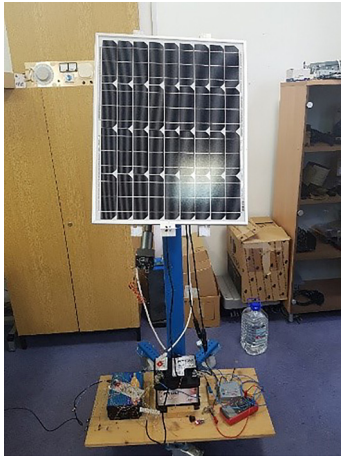
4. Opis i princip rada laboratorijskog postava.

4. Description and working principle of laboratory setup.

Korištena oprema:

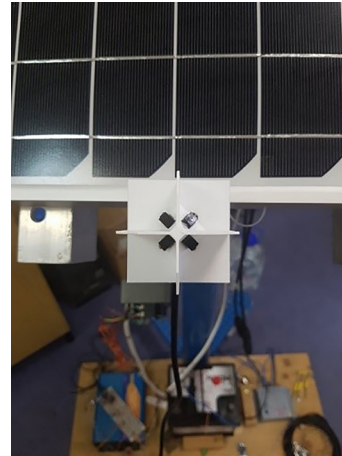
Fotonaponski panel	Sole solar SL-50M
Mikroupravljač	Arduino nano
Senzor za utvrđivanje pozicije sunca	Dioda BPW41N
Regulato punjenja baterije	MPPT SOLE 10A, 1215A
Motori	DEGER- energije Tracking Systems, 12V, 0.5A
Akumulator	Aom, 12V, 45Ah, max 360A
Dvostruki H-most	L298N
Inkrementalni enkoderi	/

Fotonaponski sustav radi na principu paralelnog praćenja sunca pomoću dvoosnog sistema upravljanja motorima. Mikroupravljač Arduino nano upravlja sustavom u tri režima rada: ručno upravljanje, upravljanje pomoću senzora te naoblaka, oblačni režim rada. Shema upravljanja prikazana na Slici (7)



Slika 6: Laboratorijski postav

Figure 6: Laboratory setup



Slika 7: Senzor za utvrđivanje pozicije

Figure 7: Position sensor

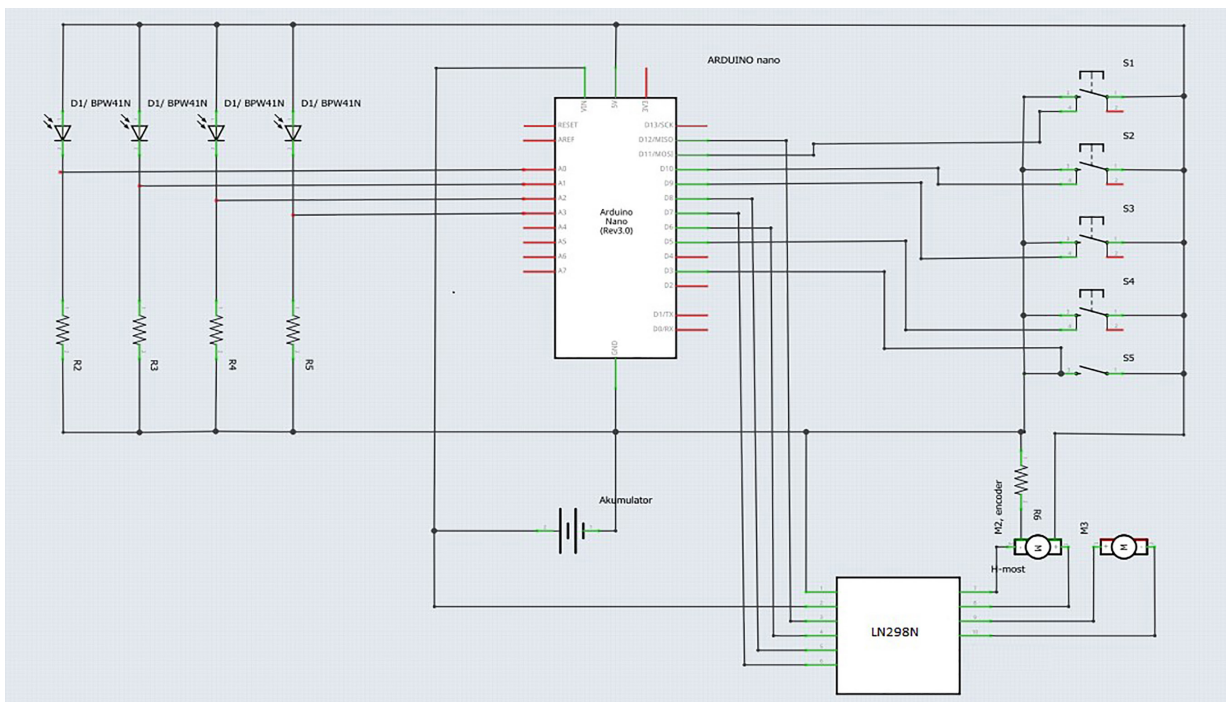
Ručni režim rada

Ručni režim rada napravljen je iz dva razloga. Prvi razlog je namještanje položaja panela prilikom prvog puštanja u rad jer motori koji su korišteni u izradi rada imaju ugrađen inkrementalni enkoder pomoću kojeg se dobiva impuls kad se motor kreće. Naime, kako se radi o inkrementalnom enkoderu on može dati samo informaciju o relativnom pomaku, ali ne i apsolutni položaj. Iz tog razloga pri uključanju sustava na akumulatorsku bateriju potrebno je napraviti kalibraciju položaja panela, tj. postaviti ga u nultu vrijednost.

Drugi razlog je potreba da se panel nalazi u određenom položaju te ga se pomoću navedenog moda rada postavlja u zadani ili željeni položaj. Navedeni slučaj može se koristiti ukoliko se rad sustava želi ispitivati kao da se radi o fiksnom panelu.

Upravljanje pomoću senzora

Upravljanje pomoću senzora - u ovom režimu rada mikroupravljač upravlja sustavom pomoću očitavanja sa senzora. Senzor se sastoji od četiri foto diode koje su postavljene pod kutem od 45° i to tako da svaka gleda u jednu stranu.



Slika 8: Shema upravljanja

Figure 8: Control circuit schematics

Računanjem razlike srednje vrijednosti dobivenog signala između lijeve i desne strane moguće je utvrditi potreban pomak sa istoka na zapad (ili obrnuto) dok je računanjem razlike srednje vrijednosti dobivenog signala između gornjih i donjih dioda moguće dobiti potreban pomak tj. promjenu nagiba sustava prema gore ili dolje. Također valja naglasiti da sustav posjeduje povratnu vezu te pomoću histereznog regulatora ostvaruje pomak fotonaponskog panela.

Fotonaponski panel ostvaruje pomak tek ako se u očitavanju sa senzora utvrdi razlika između srednjih vrijednosti koje očitavaju diode. Program prati položaj panela u odnosu na nultu poziciju. Nulta pozicija je pozicija koju sustav ima prilikom spajanja sustava na akumulatorsku bateriju te se ona može, kao što je već rečeno, podesiti u ručnom režimu rada. Za pozitivni smjer gibanja uzet je desni smjer gledajući prema panelu.

Programski kod je napravljen tako da prima očitavanja sa senzora svake sekunde i na temelju izračunate srednje vrijednosti za lijevo-desno i gore-dolje daje signal motorima koji pomiču fotonaponski panel. Regulator ima ugrađenu histerezu pa do pomaka neće doći ako je razlika srednjih vrijednosti očitavanja dovoljno mala. Time se postiže dodatna ušteda energije jer motori koji pomiču panel, naravno, troše električnu energiju, a pomak sunca je dovoljno spor da nije potrebo podešavati kut panela vrlo često. Također, ukoliko očitavanja senzora dovoljno niska, mikroupravljač može zaključiti je li došlo do naoblake ili je pala noć. U slučaju da je pala noć sustav miruje te čeka da očitavanja senzora ponovno budu dovoljno velika da sustav napravi pomak. Ukoliko sustav detektira da je došlo do naoblake prebaciti će se u oblačni režim rada.

Oblačni režim rada

Pri pojavi jake naoblake mikroupravljač se ubacuje u oblačni režim rada pri kojem se fotonaponski panel postavlja u horizontalni položaj. Kako pri jakoj naoblaci dirketne komponente zračenja nema, tada je potrebno maksimalno iskoristiti difuznu komponentu zračenja, a to se može osigurati upravo postavljanjem fotonaponskog panela u horizontalni položaj .

Ovim režimom povećava se dobivena energija pri naoblaci. Ukoliko naoblaka prođe, sustav će se automatski prebaciti u mod upravljanja pomoću senzora.

5. Zaključak

5. Conclusion

Obnovljivi izvori energije budućnost su proizvodnje električne energije te je upravo iz navedenog razloga fotonaponske sustave neophodno shvatiti kao ozbiljne proizvođače. U bliskoj budućnosti smatra se da će upravo oni proizvoditi 50% ukupno proizvedene energije na svijetu. U ovom radu opisan je fotonaponski sustav koji pomoću senzora paralelno prati putanju sunca. Prilikom usporedbe sa fiksnim fotonaponskim panelima, fotonaponski sustavi sa senzorom daju do 45% više energije premda su ponešto skuplji, ali se njihova primjena naposljetku ipak isplati uslijed daleko veće proizvodnje električne energije.

Nužno je istaknuti i dodatno naglasiti da fotonaponski sustavi koji prate sunce ovise o samoj osjetljivosti senzora te je potrebno staviti naglasak na brzinu odaziva fotodioda. Zahvaljujući programskom dijelu, sustavom je u ovom slučaju moguće upravljati putem tri režima rada za postizanje boljih karakteristika, performansi i rezultata.

6. REFERENCE

6. REFERENCES

- [1] Majdandžić Ljubomir: „SOLARNI SUSTAVI- Teorijske osnove, projektiranje, ugradnja i primjeri izvedenih projekata“, Graphis d.o.o.,Zagreb, 2010.
- [2] Majdandžić Ljubomir: „Obnovljivi izvori energije- Energetske tehnologije koje će obilježiti 21. stoljeće“, Graphis d.o.o. Zagreb, 2008.
- [3] Meštrović Zvonimir: „Zbirka zadataka iz predmeta Obnovljivi izvori energije“, Zagreb, 2017.
- [4] Rizvić Karla: „Okretni fotonaponski sustavi“, Fakultet elektrotehnike i računarstva,Zagreb,2014.

- [5] Scharck: Nadzor baterije i regulacija punjenja,
- [6] Homer Pro Microgrid Analysis tool, <http://www.homerenergy.com>, 12.9.2017.
- [7] Solarni paneli, <http://www.solarnipaneli.org/solarni-paneli-2/>, 11.09.2017.
- [8] Dr.sc. Marijana K. Roković: Fotonaponske ćelije, www.fkit.unizg.hr, 11.09.2017.

AUTORI · AUTHORS



Tomislav Odak

Rođen je 22.03.1994. u Splitu. Osnovnu i srednju školu pohađao u Drnišu. Završio srednju Elektrotehničku školu Ivana Meštrovića u Drnišu. Također završio glazbenu

školu, instrument gitara i tambura. Daljnje školovanje nastavlja u Zagrebu na Tehničkom veleučilištu smjer elektrotehnika. U rujnu 2017. godine završava preddiplomski stručni studij elektrotehnike smjer energetska elektrotehnika, tema završnog rada "Fotonaponski sustav s praćenjem pozicije sunca". Trenutno zaposlen u AutoZubak d.o.o.

Korespodencija

tomislav.odak@tvz.hr



Ivor Marković

Rođen je 18.10.1988. godine u Zagrebu. Osnovnu i srednju školu pohađao je u Zagrebu. Preddiplomski i diplomski studij završio je 2012. godine na Fakultetu elektrotehnike i

računarstva, smjer Elektroenergetika. Trenutno radi kao predavač na Elektrotehničkom odjelu Tehničkog veleučilišta u Zagrebu. Također, trenutno radi na doktorskom radu iz područja Električnih strojeva i tehnologija na fakultetu elektrotehnike i računarstva u Zagrebu.

Korespodencija

ivor.markovic@tvz.hr



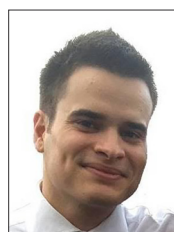
Tomislav Novak

Rođen je u Zagrebu 22.07.1985. godine. Osnovnu i srednju školu pohađao u Zagrebu. Preddiplomski i diplomski studij završio na Fakultetu elektrotehnike i računarstva u

Zagrebu 2010. godine, smjer Telekomunikacije i informatika. Radi kao predavač na Tehničkom veleučilištu u Zagrebu od 2011. godine. Od 2012. godine honorarno radi kao instruktor objektno orijentiranog programiranja i Jave na NetAkademiji.

Korespodencija

tomislav.novak@tvz.hr



Zvonimir Meštrović

Rođen je 21.8.1988. godine u Zagrebu. Osnovnu i srednju školu pohađao je u Zagrebu. Preddiplomski i diplomski studij završio je 2012. godine na Fakultetu elektrotehnike

i računarstva, smjer Elektroenergetika. Od 2012. godine zaposlen je u Končar Institutu za elektrotehniku u Odjelu za obnovljive izvore. Uz to, radi kao predavač vanjski suradnik na Tehničkom veleučilištu u Zagrebu.

Korespodencija

zvonimir.mestrovic@tvz.hr