



OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE I ENERGETSKA EFIKASNOST

Priručnik za profesore i učenike elektro struke

Mr.sc. Sejfudin Agić



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra
Swiss Agency for Development
and Cooperation SDC



GOVERNMENT
PRINCIPALITY OF LIECHTENSTEIN

CARITAS

Schweiz
Suisse
Svizzera
Svizra

cee
centar za ekologiju i energiju



BOSNA I HERCEGOVINA
FEDERACIJA BOSNE I HERCEGOVINE
FEDERALNO MINISTARSTVO PROSTORNOG
UREĐENJA



OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE I ENERGETSKA EFIKASNOST

Priručnik za profesore i učenike elektro struke

Mr.sc. Sejfudin Agić

Tuzla, novembar 2021.

CARITAS Schweiz
Suisse
Svizzera
Svizra

cee
centar za ekologiju i energiju

 **BOSNA I HERCEGOVINA**
FEDERACIJA BOSNE I HERCEGOVINE
FEDERALNO MINISTARSTVO PROSTORNOG
UREĐENJA

Izdavač:

Centar za ekologiju i energiju

Autor:

Mr.sc. Sejfudin Agić

Stručna i tehnička pomoć:

Dr.sc. Džemila Agić, dipl.ing.tehn.

Mr.sc. Vanja Rizvić, dipl.ing.tehn.

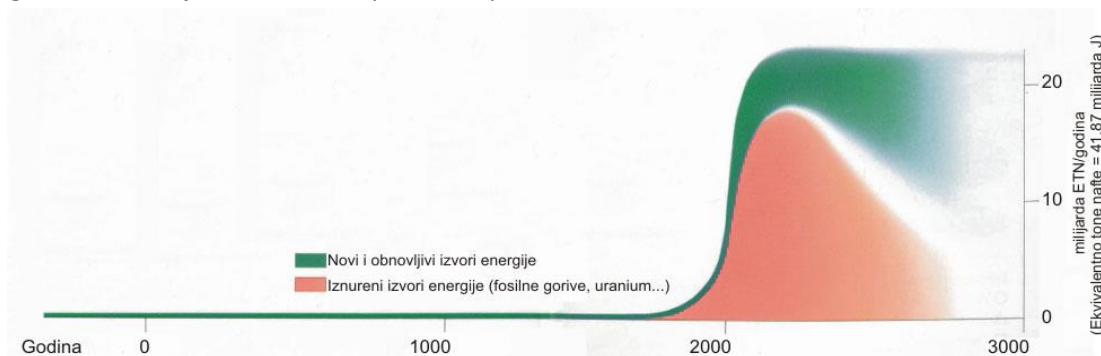
Fuad Imamović, dipl.ing.arh.

SADRŽAJ

UVOD	5
1. SUNCE JE IZVOR NEOGRANIČENE ENERGIJE	6
1.1. Obnovljivi izvori energije	6
1.2. Bilans Sunčevog zračenja	6
1.2.1. Orijentacija solarnih panela	7
1.2.2. LABORATORIJSKA VJEŽBA I: Električne veličine solarnih ćelija	9
2. SIMULACIJA RADA FOTONAPONSKOG SISTEMA	12
2.1. Solarna ćelija	12
2.2. Solarni fotonaponski moduli	14
2.2.1. LABORATORIJSKA VJEŽBA II: Snimanje I-U karakteristike solarnog modula	16
3. REGULATORI PUNJENJA	20
3.1. Regulator punjenja	20
3.1.1. LABORATORIJSKA VJEŽBA III: Prosti regulator punjenja	21
4. INVERTORI I AKUMULATORI	23
4.1. Invertori – izmjenični pretvarači	23
4.2. Solarne baterije - akumulatori	25
4.2.1. LABORATORIJSKA VJEŽBA IV: Sinusni inverter 12V/220V	26
5. OFF-GRID SOLARNI SISTEMI	27
5.1. Podjela fotonaponskih sistema	27
5.2. OFF-GRID sistemi	27
5.3. Dimenzioniranje fotonaponskih sistema	28
5.3.1. Određivanje ukupne snage i ukupne potrošnje	28
5.3.2. Dimenzioniranje fotonaponskog generatora	29
5.3.3. Dimenzioniranje solarnih akumulatora	30
5.3.4. LABORATORIJSKA VJEŽBA V: Proračun OFF-GRID solarnog sistema	31
6. ON-GRID SOLARNI SISTEM OD 4kW	32
6.1. ON-GRID fotonaponski sistemi	32
6.1.1. Mrežni pretvarači – invertori za on-grid	32
6.1.2. Mjerenje isporučene/preuzete energije u on-grid sistemu	33
6.1.3. LABORATORIJSKA VJEŽBA VI: PRIMJER SOLARNE ELEKTRANE OD 4 kW	34
7. ENERGIJA VJETRA	36
7.1. Vjetrogeneratori	36
7.2. Osnovni dijelovi vjetrogeneratora	36
7.3. Podjela vjetroturbina	37
7.4. Samostalni - hibridni energetska sistem	39
8. MIKRO-HIDRO TURBINE	40
8.1. Male hidroelektrane	40
8.2. Mikro hidro turbina	40
8.3. Mini hidro turbina	41
9. LITERATURA, KORISNI LINKOVI I TEME ZA SEMINARSKE, MATURSKE I DIPLOMSKE RADOVE	43

UVOD

Stoljećima su naši preci živjeli u skladu sa prirodom. Nisu trošili onoliko koliko mi danas, a preživljavali su hiljadama godina oslanjajući se na prirodne energetske izvore koji jesu obnovljivi izvori. To su energetske izvori koji su dio tokova prirodnih procesa.



Slika 1.1. Obnovljivi i neobnovljivi energetske izvori u službi čovjeka

Zalihe različitih energetske resursa nisu neograničene. Rezerve urana, uglja, nafte i plina neće trajati zauvijek, niti će se vratiti same od sebe, a obnovljivi energetske resursi su nadohvat ruke.

U svrhu promocije obnovljivih izvora energije, posebno energije Sunca, u postojećim nastavnim planovima i programima za elektrotehničke struke, u ovom praktičnom priručniku se predlaže skup tema koje se mogu implementirati u postojeće nastavne sadržaje koji obrađuju obnovljive izvore energije.

Ovaj Priručnik je namijenjen učenicima i nastavnicima tehničkog odgoja u osnovnim školama i nastavnicima svih tehničkih struka i srodnih stručnih zanimanja, posebno elektrotehničke grupe predmeta, kao i ostalim zainteresiranim, a njegov cilj je da realizacijom predloženih praktičnih vježbi bude edukativni materijal i vodilja za realiziranje tema iz oblasti obnovljivih izvora energije.

Sve teme su prezentirane sa slikovitim i ne previše činjenično proširenim teorijskim uvodom i opisom primjera prostih i/ili kompleksnijih praktičnih vježbi za koje škole već imaju potrebna učila ili su potrebna minimalna sredstva da ih nabavi.

Predložene su sljedeće teme/lekcije:

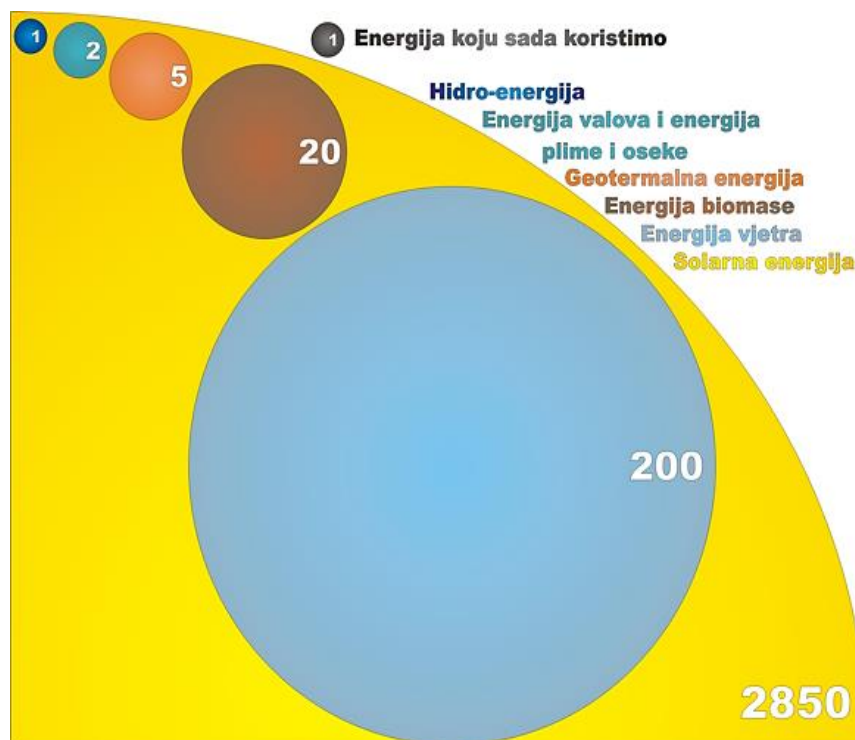
1. Princip rada solarne ćelije
2. Simulacija rada solarnog sistema
3. Regulatori punjenja
4. Invertori i akumulatori
5. Off-grid solarni sistemi
6. On-grid solarni sistemi
7. Energija vjetra - Vjetrogeneratori
8. Energija iz mikro-hidroturbina

Zahvaljujem se Centru za ekologiju i energiju i Caritas-u Švicarske, koji su mi pružili priliku da svoje iskustvo u praktičnom radu pretočim u ovaj Priručnik.

1. SUNCE JE IZVOR NEOGRANIČENE ENERGIJE

1.1. OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE

U svojim različitim oblicima, svi obnovljivi izvori energije se dobijaju, ili akumuliraju, direktno iz Sunca. Takvi izvori su energija i toplina dobijeni iz Sunčeve svjetlosti, vjetra, okeana, hidroenergije, biomase i geotermalne energije te biogoriva i vodika dobijenog iz obnovljivih izvora.



Slika 1.2. Raspoloživi obnovljivi izvori energije

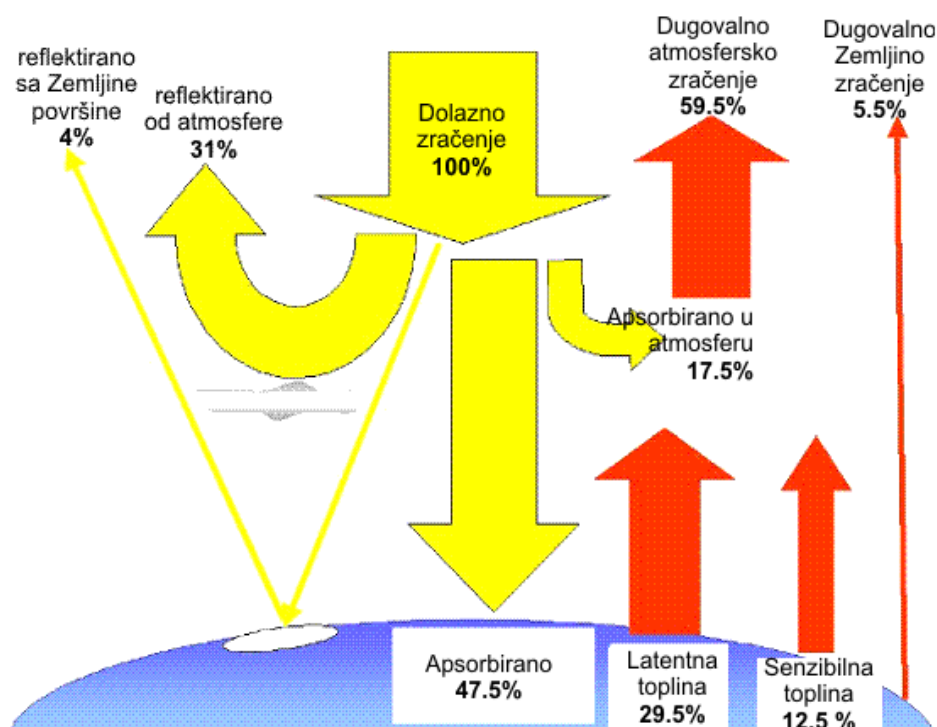
Prema raspoloživim podacima, izraženo u tonama uglja, svake godine u svijetu potrošimo energije koliko bi se dobilo sagorijevanjem 10.000.000.000 t uglja (crna loptica na slici 1.2). Upravo toliku količinu energije sadrže sve svjetske rijeke (tamno plavi krug), oceani sadrže duplo više energije (tirkizno plavi krug), iz geotermalnih izvora se može dobiti 5 puta veća količina energije (narandžasti krug), bioplin i bioenergija mogu osigurati 20 puta više energije u odnosu na trenutnu potrošnju (smeđi krug), vjetar 200 puta veću količinu (svijetlo plavi krug), a Sunce isija 2850 puta (žuti krug) više energije u odnosu na trenutne energetske potrebe svih stanovnika Zemlje.

1.2. BILANS SUNČEVOG ZRAČENJA

Sunce je nama najbliža zvijezda i centralna tačka Sunčevog sistema koja svojom masom¹ planete i brojna druga nebeska tijela drži u putanjama oko sebe. U unutrašnjosti Sunca se stalno odigrava proces fuzije jezgre, pri kojem se u jezgru stvara temperatura od 15 miliona °C i pritisak od 200 milijardi bara.

¹ Sunce ima masu 333.660 puta veću od mase Zemlje

Masa Sunca iznosi 99% mase našeg Sunčevog sistema, a sastavljen je od 75% vodika, 23% helija i 2% teških metala.



Slika 1.3. Bilans Sunčevog zračenja na Zemlju

Intenzitet Sunčevog zračenja u kosmosu (izvan zemljine atmosfere) je zbog promjene rastojanja između Zemlje i Sunca sa godišnjim dobima podložan oscilacijama od oko $\pm 1,7\%$. Srednja vrijednost tzv solarna konstanta iznosi $E_0=1.376 \text{ W/m}^2$. Na površini Zemlje ta vrijednost umanjena je zbog utjecaja atmosfere i pojava koje se javljaju refleksija, apsorpcija i rasipanje.

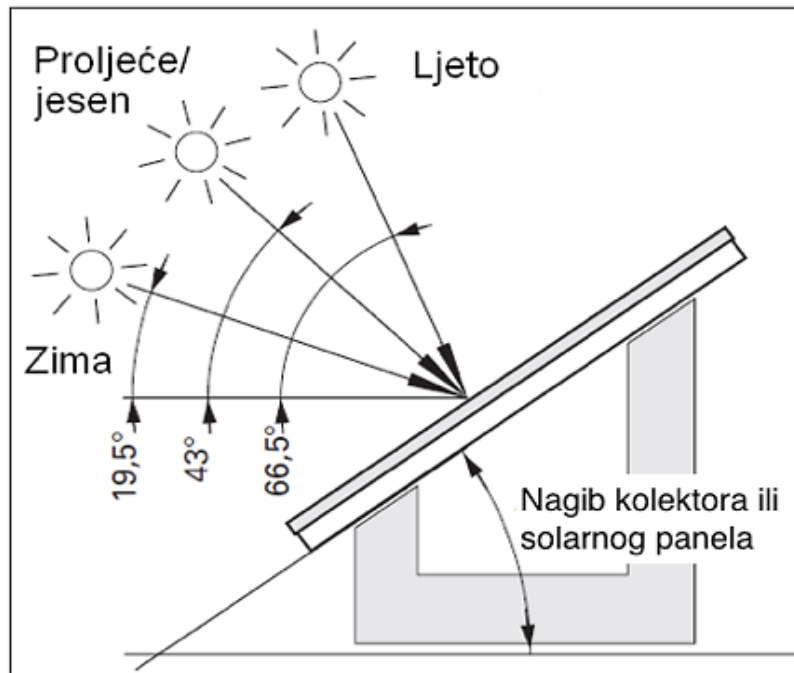
Nezavisno od mjesta na Zemlji, oko podne, po sunčanom danu, intenzitet Sunčevog zračenja iznosi oko 1000 W/m^2 . U toku godine Sunce nam preda energiju od 220.000 biliona kWh, što je preko 2.500 puta više od energetske potrošnje cjelokupnog čovječanstva. Ako se sabere vrijednost Sunčevog zračenja tokom jedne godine na istom mjestu dobije se srednje globalno zračenje u kWh/m^2 .

Prosječno godišnje zračenje za Bosnu i Hercegovinu je oko 1250 kWh/m^2 ($1.000\text{--}1.400 \text{ kWh/m}^2$). U poređenju sa dijelovima Sahare, Saudijske Arabije, Srednje Amerike ili Sjeverne Australije, područja koja su najbogatija Sunčevim zračenjem, u BiH ga dobijemo 65%.

Prema statističkim podacima u BiH imamo godišnje oko 270 sunčanih dana. Ovi podaci su pokazatelj da je postavljanje i korištenje solarnih kolektora i fotonaponskih sistema moguće i isplativo.

1.2.1. Orijentacija solarnih panela

Na slici 1.4 prikazana je zavisnost nagiba kolektora od položaja Sunca kroz sva četiri godišnja doba. Bilo bi optimalno praviti kolektore sa promjenljivim nagibom.



Slika 1.4. Nagib solarnog panela zavisi od doba godine

Za postavljanje solarnog panela neophodno je instalirati nosač prema postojećim dimenzijama panela. Nosač se postavlja na dijelu objekta koji će poslužiti za postavljanje panela. Mjesto za postavljanje panela se određuje prema orijentaciji u odnosu na strane svijeta.

Preporučuje se orijentacija prema jugu, a zadovoljavajuća je i jugoistok, ili jugozapad, zavisno od lokalnih geografskih uslova. Pri tome nagib panela prema površini zemlje treba da bude približno 40 – 45°. Približno takav nagib imaju krovovi na našim kućama (slika 1.5).



Slika 1.5. Geografska orijentacija: jug, jugoistok ili jugozapad

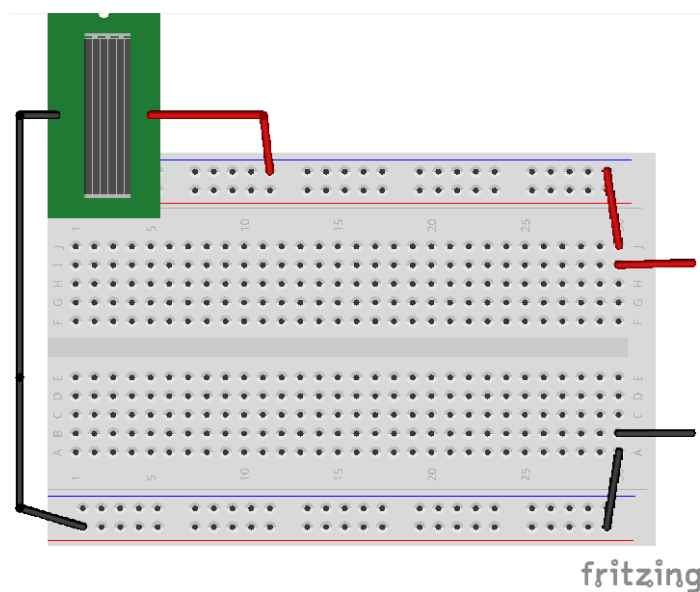
1.2.2. Laboratorijska vježba I: Električne veličine solarnih ćelija

Potreban materijal i učila:

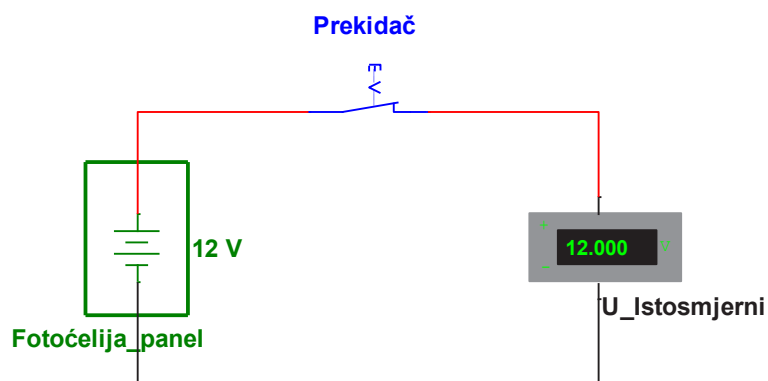
Solarna ćelja (najmanje dvije, iz bilo kakvog uređaja opšte namjene), LED dioda (bilo koje boje), zaštitni otpor za LED (bilo koji od 100-1000 Ω), univerzalni instrument (2 komada).

ZADATAK:

1. Spojiti na Matador ploči solarnu ćeliju, kao na slici 1.6.
2. Koristeći univerzalni instrument, mjeriti indukovani istosmjerni napon na ćeliji.
3. Izborom položaja solarne ćelije u prostoru, pronaći položaj sa maksimalnim izlaznim naponom.



Slika 1.6. Montažna šema spajanja solarne ćelije (panela) na Matador ploči prikazana u Fritzing-u²

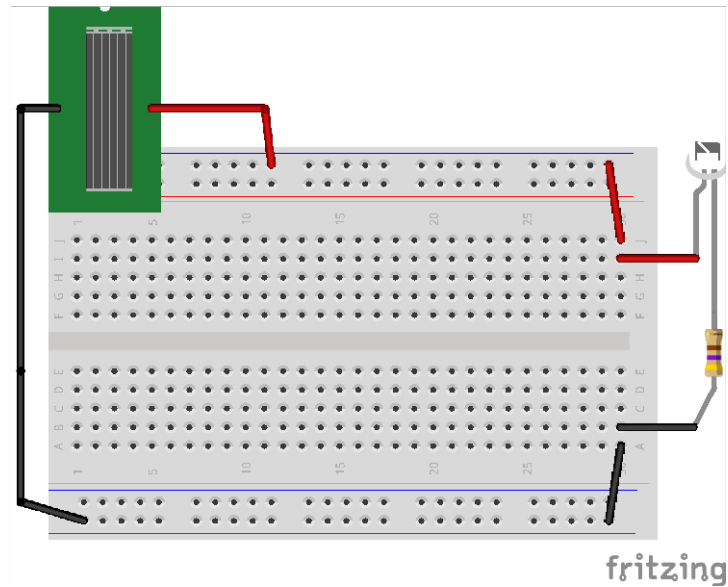


Slika 1.7. Elektronska šema mjerenja indukovanog napona solarne ćelije (panela) u Multisim-u³

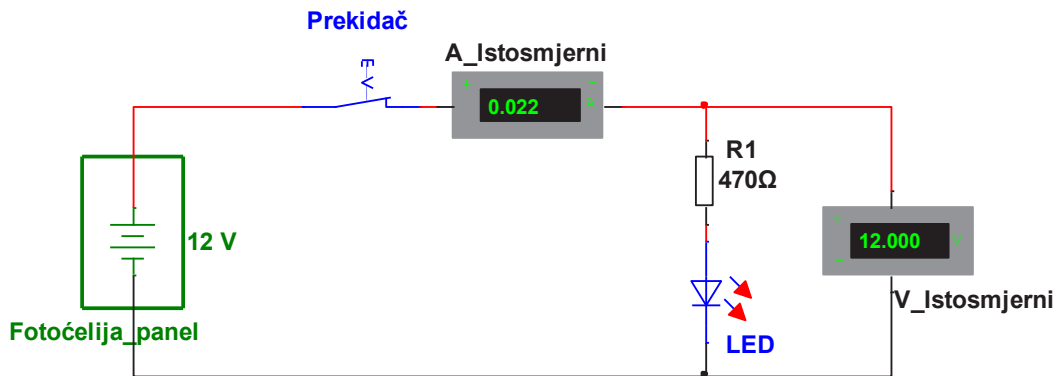
4. Spojiti u izlaznom kolu LED diodu sa predotporom od 470 Ω (slika 1.8).
5. Izmjeriti izlazni napon i struju opterećene solarne ćelije (slika 1.9).

² <https://www.fritzing.org/download>

³ <https://www.ni.com/en-rs/support/downloads/>

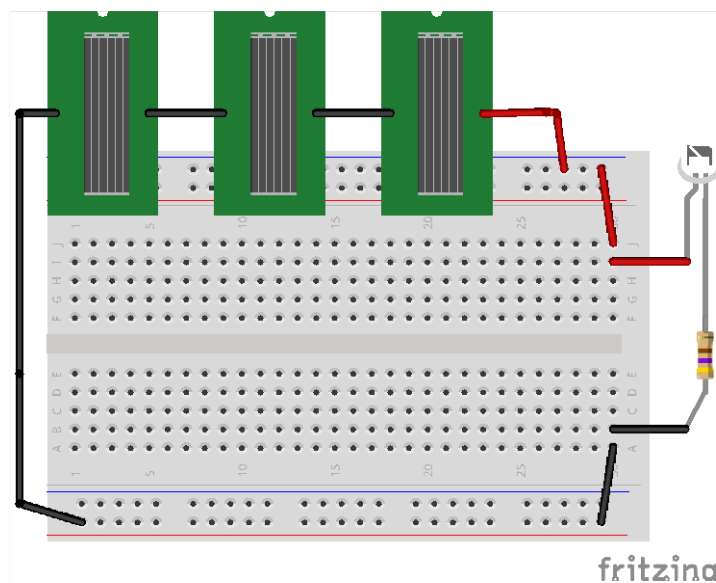


Slika 1.8. Montažna šema spajanja opterećenja solarne ćelije

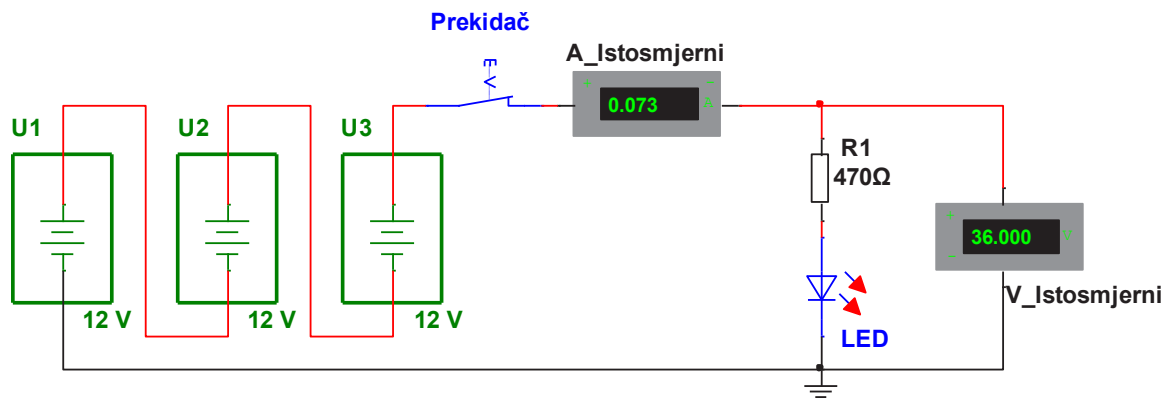


Slika 1.9. Elektronska šema mjerenja napona i struje na izlaznom opterećenju

6. Spojiti u seriju dvije (ili tri) solarne ćelije istog tipa sa opterećenjem, kao na slici 1.10.
7. Izmjeriti izlazni napon i struju serijski vezanih solarnih ćelija (slika 1.11). Do kakvih promjena je došlo u odnosu na eksperiment sa slika 1.8 i 1.9?

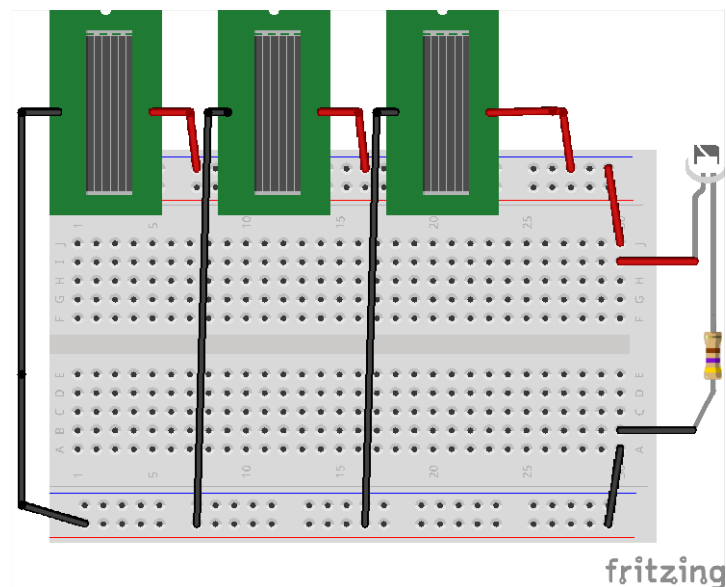


Slika 1.10. Montažna šema serijskog spajanja solarnih ćelija

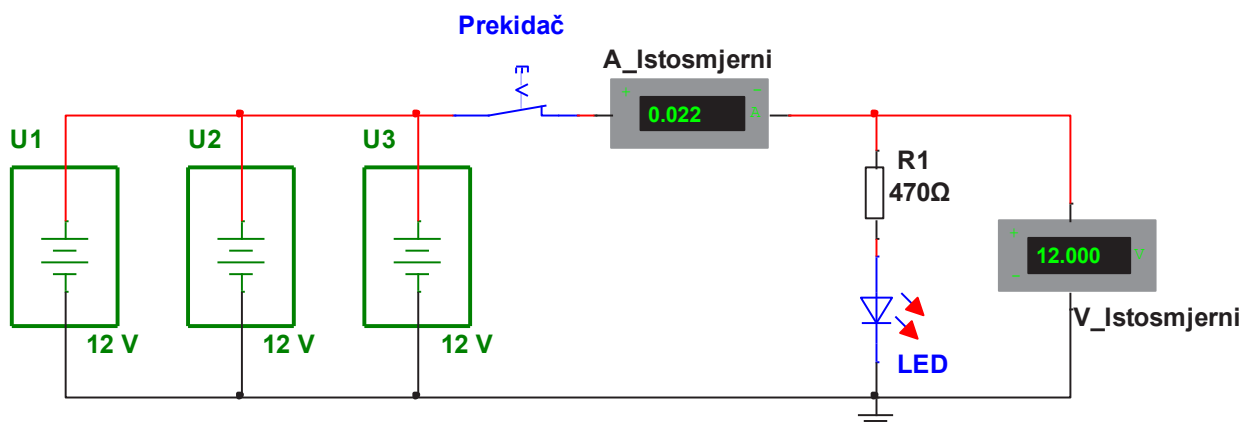


Slika 1.11. Elektronska šema mjerenja napona i struje na izlaznom opterećenju serijski vezanih solarnih ćelija

8. Spojiti u seriju dvije (ili tri) solarne ćelije istog tipa sa opterećenjem, kao na slici 1.12.
9. Izmjeriti izlazni napon i struju paralelno vezanih solarnih ćelija (slika 1.13). Do kakvih promjena je došlo u odnosu na eksperiment sa slika 1.8 i 1.9?



Slika 1.12. Montažna šema paralelnog spajanja solarnih ćelija



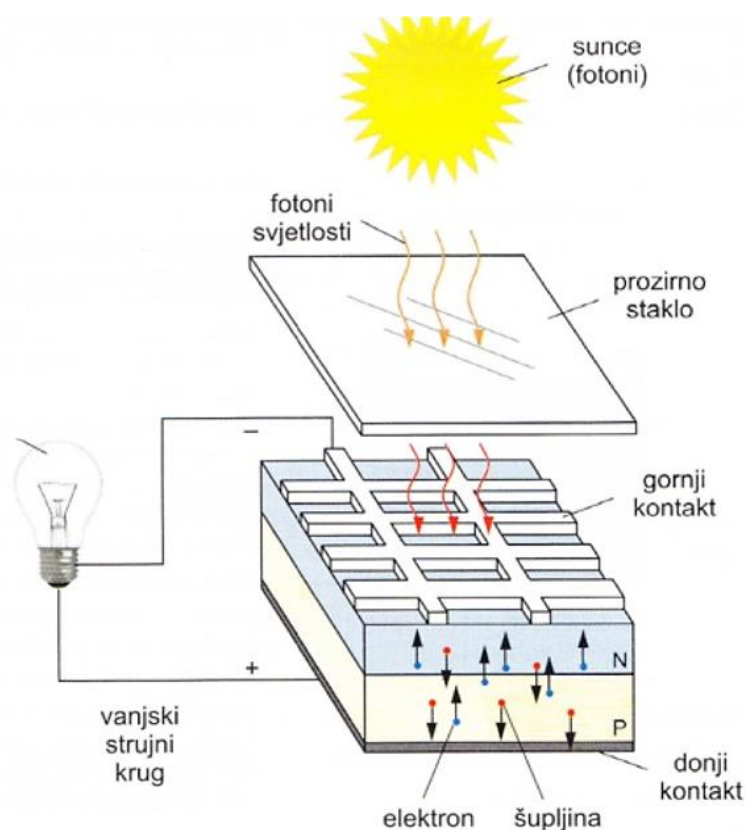
Slika 1.13. Elektronska šema mjerenja napona i struje na izlaznom opterećenju paralelno vezanih solarnih ćelija

2. SIMULACIJA RADA FOTONAPONSKOG SISTEMA

2.1. SOLARNA ČELIJA

Riječ fotovoltaič (eng. Photovoltaic) izvedena je iz grčke riječi "Photon", što znači svjetlost i imena italijanskog fizičara Alesandra Volte, po kome je mjerna jedinica za napon dobila ime. Za pretvaranje Sunčeve energije u električnu energiju potrebna je solarna (fotonaponska) ćelija koja je osnovna komponenta svakog fotonaponskog panela. U solarnoj ćeliji se Sunčeva energija transformiše direktno u istosmjerni napon što je čini ekološki veoma prihvatljivom.

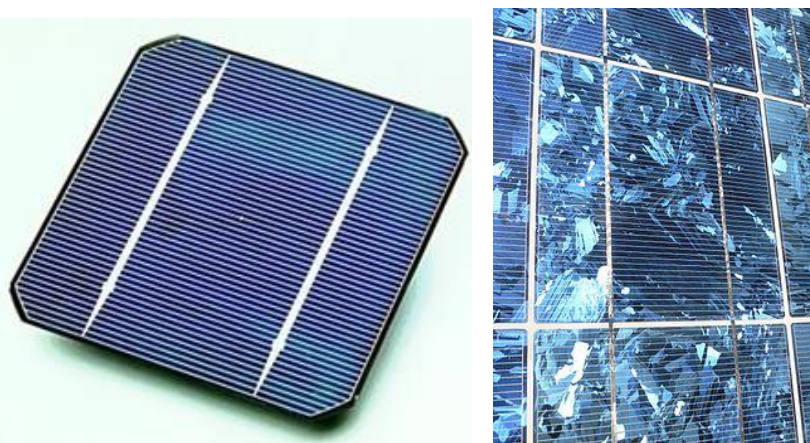
Solarna ćelija funkcioniše prema procesu poznatom po nazivu fotoefekat. Fotoni Sunčeve svjetlosti, koji padnu na prednju stranu solarne ćelije, predaju svoju energiju elektronima i u različitim slojevima ćelije izazivaju manjak, odnosno višak elektrona. Tako se stvaraju razliku potencijala, odnosno električni napon. P-N dodirna površina (tzv. zabranjena zona) održava nastalu raspodjelu naelektrisanja, a postignuta razlika potencijala se može mjeriti i koristiti na krajevima solarne ćelije, kao istosmjerni napon, kako je prikazano na slici 2.1.



Slika 2.1. Struktura kristalne solarne ćelije

Da bi se propustilo što više svjetlosti, gornja strana solarne ćelije je opremljena antirefleksnim slojem i metalnim kontaktima sličnim češlju. Na ćeliji debljine 0,3 – 0,4 mm, veličine 10x10 cm po osvjetljavanju nastaje napon od oko 0,5 Volti (V) na vanjskim metalnim kontaktima. Različitim vezivanjem solarnih ćelija mogu se dobiti različiti naponi i snage. Odnos proizvedene električne snage i snage kojim Sunce zrači na solarnu ćeliju naziva se stepen korisnog dejstva. Ova veličina za standardne ćelije na tržištu iznosi 12-18%, zavisno od tipa izrade.

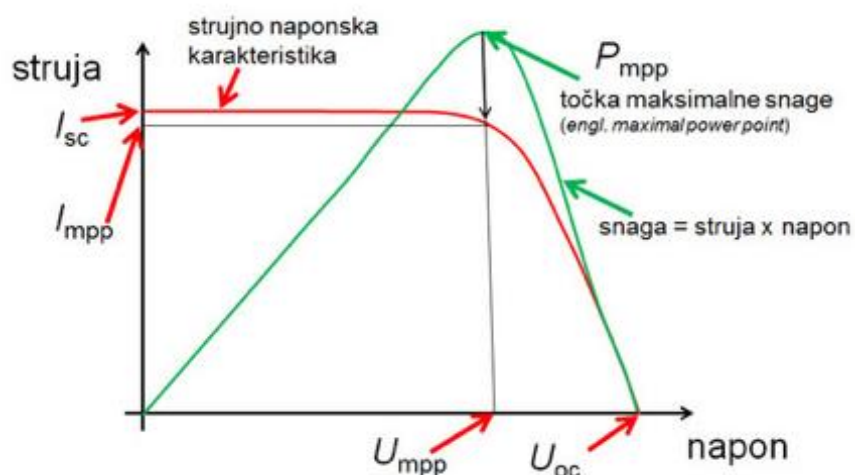
Tri su preovlađujuća tipa solarnih ćelija i to: nešto skuplje monokristalne, jeftinije multikristalne (polikristalne) i ćelije za male snage od amornog (nekrystalnog) silicijuma. Pogledajmo jednostavan proračun. Ako je Sunčevo zračenje prosječno 1.000 W/m^2 , koje pada na monokristalnu ćeliju veličine $10 \times 10 \text{ cm}$, onda se na taj dm^2 dozrači 10 W . Pri stepenu iskorištenja od 18% ćelija odaje snagu od $1,8 \text{ W}$ pa je za solarni sistem (generator) snage $1,8 \text{ kW}$ potrebno 1.000 takvih ćelija.



Slika 2.2. Monokristalne (lijevo) i polikristalna (desno) solarna ćelija

Napon na krajevima ćelije nije konstantan i zavisi od količine svjetlosti koja pada na ćeliju. Na napon osim toga utiču i promjene temperature okoline i same ćelije. Pri povišenju temperature napon opada, a pri smanjenju napon poraste.

U neopterećenom stanju solarne ćelije podešava se napon praznog hoda U_{OC} , a u Maximum Power Point – MPP stanju dobije se napon ćelije U_{MPP} . Snaga solarne ćelije dobije se množenjem napona U_{MPP} i struje solarne ćelije I_{MPP} i označena je jedinicom Wp (Watt/peak = maksimalna, vršna snaga), kako je prikazano na slici 2.3.



Slika 2.3. Električni parametri solarna ćelija

Pošto zračenje Sunca nije konstantna veličina, uslijed jakih dnevnih i godišnjih oscilacija, kreiran je STC postupak (STC – standardni uslovi testiranja) koji definira električne parametre za poređenje različitih tipova solarnih ćelija. Takvi SCT uslovi daju konstantne vrijednosti zračenja (E) u odnosu na 1 kW/m^2 ,

temperature ćelije $T=25\text{ }^{\circ}\text{C}$ i Air Mass – A_m od 1,5. Proizvođači solarnih modula daju podatke o struju, naponu i snazi u MPP-u, koji se u normalnom slučaju odnose na STC. Pri porastu temperature za $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ struja se povećava za oko 0,07%, napona smanjuje za oko 0,4% i smanjuje se snaga za oko 0,45%.

2.2. SOLARNI FOTONAPONSKI MODULI

Solarni fotonaponski modul se sastoji od više serijski povezanih solarnih ćelija i tzv. bajpas (by-pass) dioda, koje štite solarne ćelije od djelimičnog zasjenčenja modula.



Slika 2.4. Izgled tipičnog monokristalnog modula snage 85 W sa vodovima za priljučivanje na zadnjoj strani

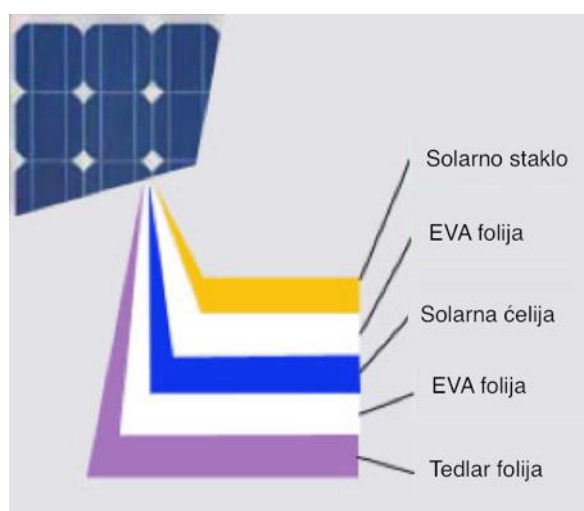
Karakteristična veličine za fotonaponski modul sa slike 2.4 su:

Nazivni napon:	12V
Nazivna snaga:	85W
Napon maksimalne snage U_{MPP} :	18.29V
Napon praznog hoda:	21.96V
Struja maksimalne snage I_{MPP} :	4.62A
Vrijednosti date prema:	STC: 1000W/m², 25°C, AM 1,5
Dimenzije ćelija:	125x125mm
Broj ćelija/broj bajpas dioda:	36/2
Dimenzije i masa:	1197x542x35mm, 8 kg

Ako se kod serijskog spoja jedna ćelija zamračí, ona se ponaša kao električni potrošač. Na taj način nastalo povećanje temperature može dovesti do uništenja solarne ćelije (hot-spot efekat). Ova je zaštita od maksimalne struje napravljena od strane proizvođača solarnih modula, tako da se ćelije dijele u solarne trake od 12 do 24 komada i štite se upotrebom bajpas dioda.

Za standardne module nazivna snaga se kreće u granicama 50 – 250 W. Površine modula su od 0,5 – 2 m². Željene ukupna snaga određuje broj modula i tip solarnih ćelija koje se koriste u modulima. Kristalne solarne ćelije od silicijuma se proizvode u veličinama 10x10 cm, 12,5x12,5 cm ili 15,6x15,6 cm. Najmanje rastojanje između ćelija povezanih u trake iznosi 2 mm u pravcu trake i 3 mm između traka. U zavisnosti od stepena efikasnosti modula potrebno je oko 80 m² da bi se dobila snaga od 10 kWp. Međutim, na ravnom krovu je za istu snagu potrebno oko 240 m², zbog rastojanja koje se mora održati između modula, da bi se spriječilo sjenčenje.

Težina solarnih modula iznosi oko 10 – 15 kg/m², zajedno sa postoljem 15 – 25 kg/m², a uključujući i osnovu za postavljanje modula na ravne krovove, mora se računati sa težinom od 100 – 150 kg/m². Posmatrajući presjek modula vidimo da se on sastoji od kristalnih ćelija koje su poredane kao laminatne staklene folije. Struktura je prikazana na slici 2.5.



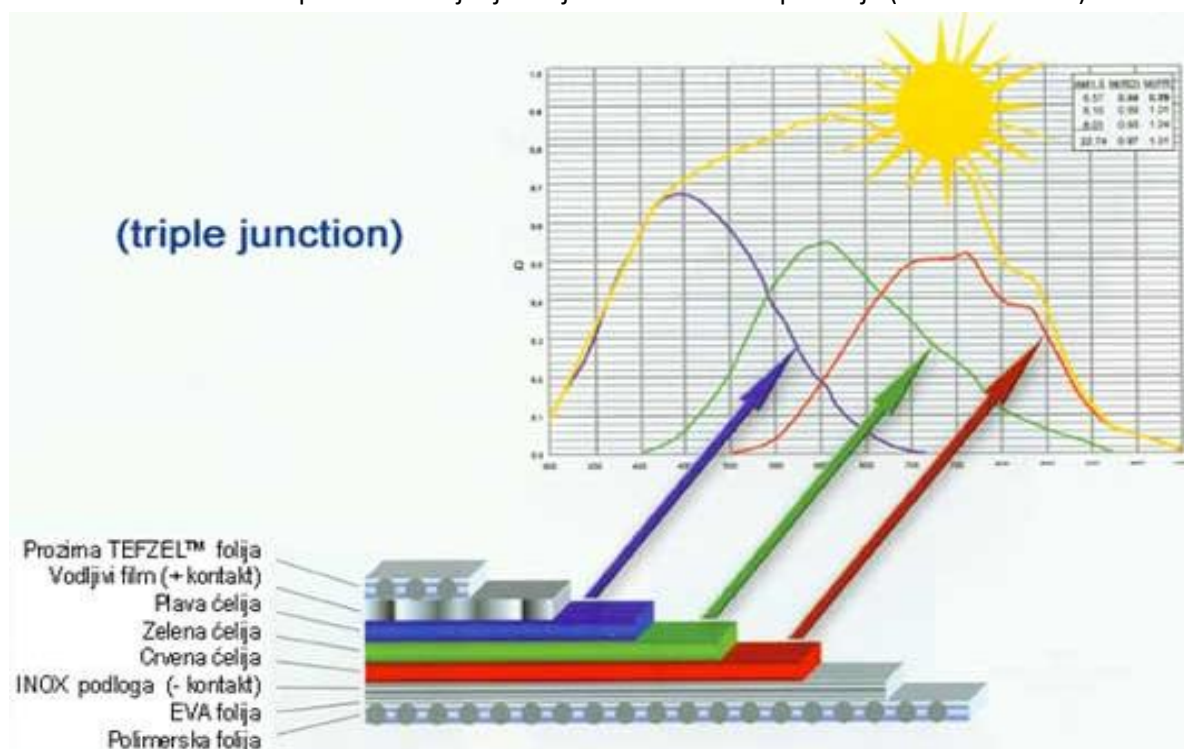
Slika 2.5. Poprečna konstrukcija solarnog modula

Da bi se moduli štitili od klimatskih i mehaničkih utjecaja, prekrivaju se folijama ili tečnim smolama. Često korištena tehnika je oblaganje etilen-vinil-acetatom (EVA). Pri tome se same ćelije, između solarnog stakla sa prednje strane i plastične folije (tedlar folija) na zadnjoj strani, oblažu EVA folijom. Tako konstruiran solarni modul debljine je oko 4 – 5 mm.

Debljina frontalne staklene ploče je različita pošto zbog mehaničkog opterećenja zavisi od veličine modula. Koristi se sigurnosno bijelo staklo, koje zbog malog udjela željznog osida dobro propušta svjetlost. Folija na zadnjoj strani je elastična kompozitna plastična folija – tedlar. Tedlar je višeslojan i sadrži aluminijski sloj koji zaustavlja prodiranje kiseonika i sprječava prepanu oksidaciju ćelija. Priključni vodovi se izvode kroz otvor na zadnjoj strani na koji se nakon laminiranja postavlja razvodna kutija. Radi mehaničke stabilnosti okvir modula je od aluminijuma ili plemenitog metala.

Na tržištu su dostupni i moduli koji proizvode (zavisno od inteziteta Sunčevog zračenja) do 30% više energije od drugih modula. Moduli proizvedeni ovim tehnologijama (crveni-zeleni-plavi sloj), omogućuje efikasno pretvaranje energije u cijelom Sunčevom spektru. Veća temperaturna stabilnost koeficijenta efikasnosti osigurava veći prinos energije pri višim (ljetnim) temperaturama od mono i poli kristalinskih modula. Integrirane bajpas diode na svakoj ćeliji omogućuju superioran rad u

uslovima zasjenčenja u odnosu na kristalne module. Konstrukcija ovih modula ne sadrži staklo pa su ovi moduli izvanredno otporni na lomljenje uslijed mehaničkih naprezanja (vandalizam i sl.).



Slika 2.6. Poprečna konstrukcija solarnog modula novijih tehnologija

2.2.1. Laboratorijska vježba II: Snimanje I-U karakteristike solarnog modula

Potrebni materijal i učila:

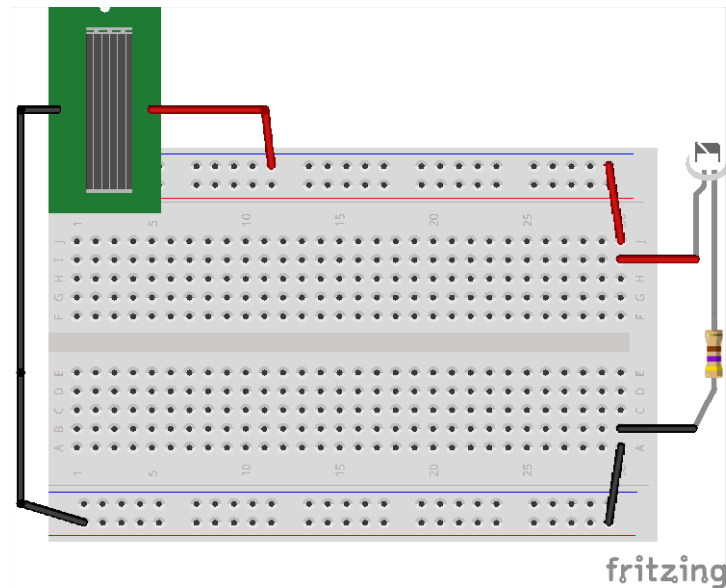
Solarni modul/i iz I vježbe, LED dioda (bilo koje boje), zaštitni otpor za LED (bilo koji od 100-1000 Ω), elektrolitski kondenzator (kapacitivnosti 1000-4700 μ F / 20-35 V), univerzalni instrument (2 komada).

ZADATAK I: Snimanje strujno-naponske karakteristike solarnog modula

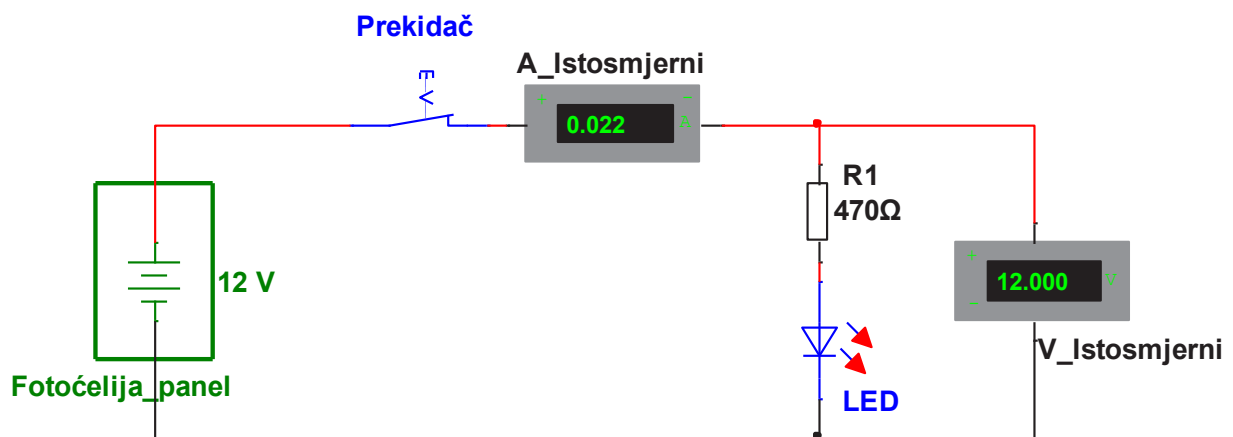
1. Spojite montažnu šemu sa slika 2.7, ali bez LED diode i predotpora (neopterećen panel), postavite solarni panel u najoptimalniji položaj u odnosu na Sunčevu svjetlost i izmjerite multimetrom napon "praznog hoda" U_{oc} , kao na slici 2.3.
2. Zatim spojite LED diodu i predotpor i sa dva multimetra izmjerite U_{mpp} i struju I_{mpp} (maksimalni napon i maksimalnu struju u tački maksimalne snage).
3. Zakretanjem panela (do maksimalno 90° od optimalnog osvjetljenja) izmjerite napon i struju u bar još tri položaja panela i ispunite tabele 2.1
4. Nacrtati I-U karakteristiku i karakteristiku snage u Excel-u.

Tabela 2.1. Podaci za crtanje I-U karakteristike solarnog modula

	Položaj I	Položaj II	Položaj III	Optimalni položaj (U_{mpp} , I_{mpp})	Neopterećen panel (U_{oc})
Napon U [V]					
Struja I [mA]					
Snaga P=UI [W]					



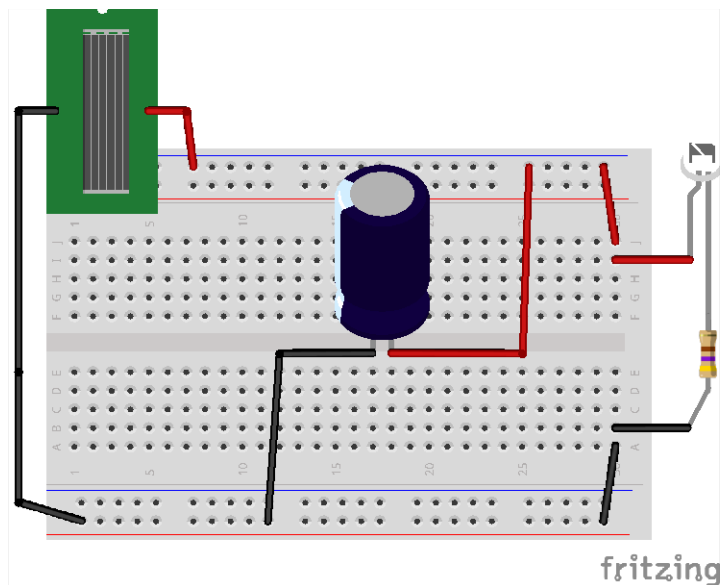
Slika 2.7. Montažna šema za snimanje IU karakteristike
(za naopterećen panel sklonimo izlazno opterećenje tj. LED diodu i predotpor od 470 Ω)



Slika 2.8. Elektronska šema za snimanje IU karakteristike solarnog modula

ZADATAK II: Simulacija rada prostog solarnog sistema

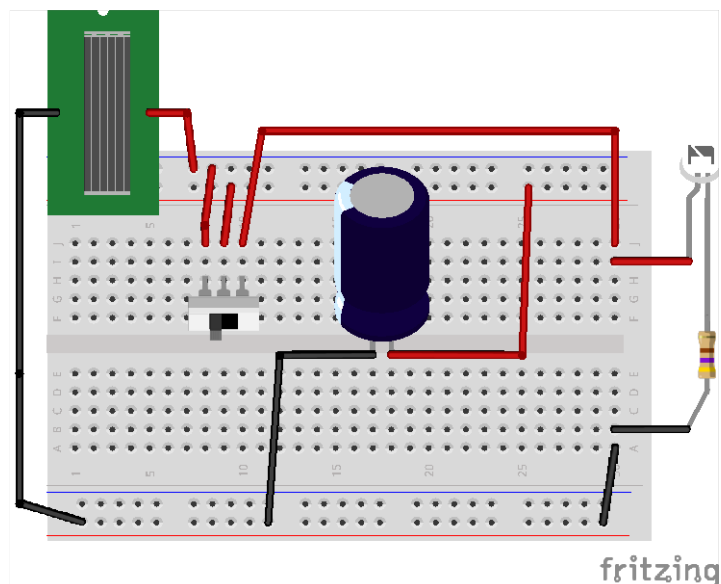
1. Spojite montažnu šemu sa slike 2.9. Dodali smo samo elektrolitski kondenzator u odnosu na sliku 2.7. Preporučena vrijednost kapacitivnosti kondenzatora je bilo koja između 470-1000 μF (25/30 V), iako može i niža vrijednost. Vodite računa da ispravno spojite polove kondenzatora ("-" pol je označen na tijelu kondenzatora).
2. Postavite panel u optimalni položaj i puniti kondenzator tokom 60 s. Nakon toga prekinite strujni tok isključenjem panela (isključite crveni vod sa panela iz Matador pločice). Akumulirana energija u kondenzatoru će držati LED nekoliko sekundi uključenom.
3. Produžite vrijeme punjenja na 5 minuta. Poredite vremena uključenja?



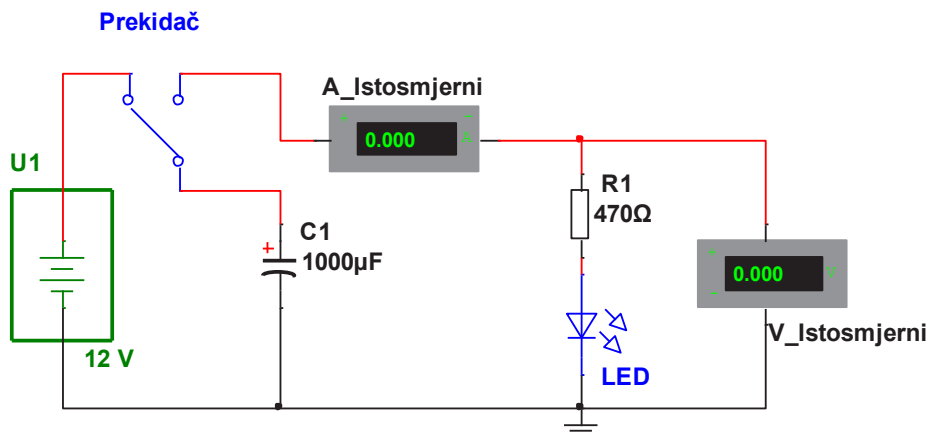
Slika 2.9. Montažna šema simulacije prostog solarnog sistema (punjenje/pražnjenje kondenzatora)

U slučaju da raspolazete sa tropoložajnim prekidačem (možete ga simulirati i sa kratkospojnicima sa vodova) možete realizirati montažnu šemu sa slike 2.10.

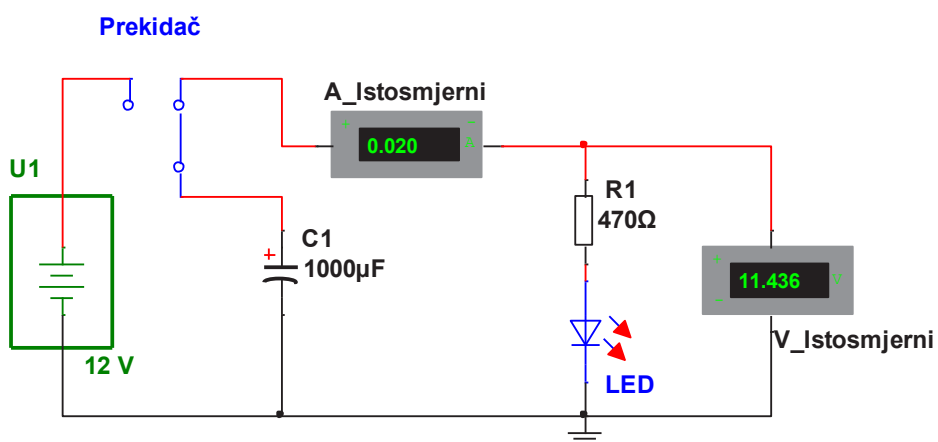
4. Priključite dva multimetra i analizirajte proces punjenja (slika 2.11) i pražnjenja (slika 2.12) kondenzatora energijom iz solarnog panela. Zaključujemo da se energija iz solarnog panela može akumulirati i u ovom prostom slučaju. Za profesionalniju potrebu koristimo akumulator odgovarajućeg napona (npr. 12 V).



Slika 2.10. Montažna šema simulacije prostog solarnog sistema (sa tropoložajnim prekidačem)

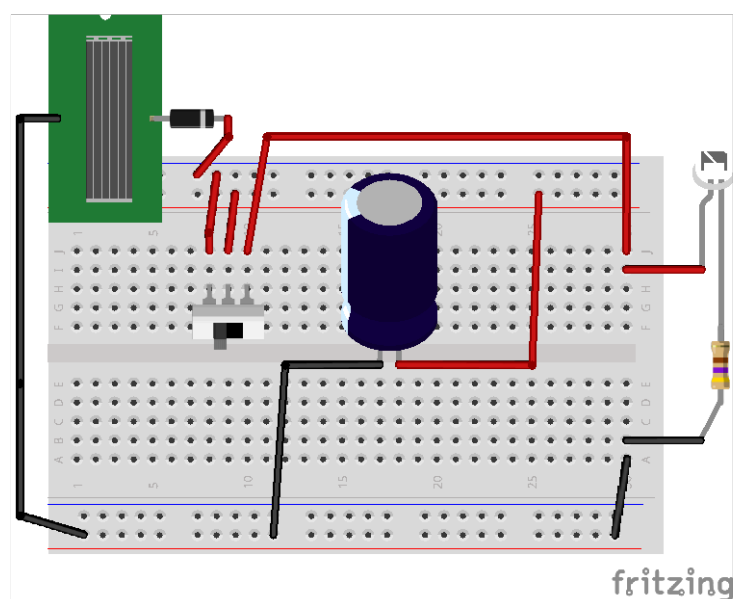


Slika 2.11. Montažna šema simulacije prostog solarnog sistema (sa tropoložajnim prekidačem)



Slika 2.12. Montažna šema simulacije prostog solarnog sistema (sa tropoložajnim prekidačem)

Da bismo tokom eksperimenta zaštitili solarni panel od prelaznih otpora, uslijed uključenja i isključenja prekidača, potrebno je spojiti i zaštitnu poluprovodničku diodu, kao na slici 2.13.



Slika 2.13. Montažna šema simulacije prostog solarnog sistema (sa tropoložajnim prekidačem i zaštitnom diodom)

3. REGULATORI PUNJENJA

3.1. REGULATOR PUNJENJA

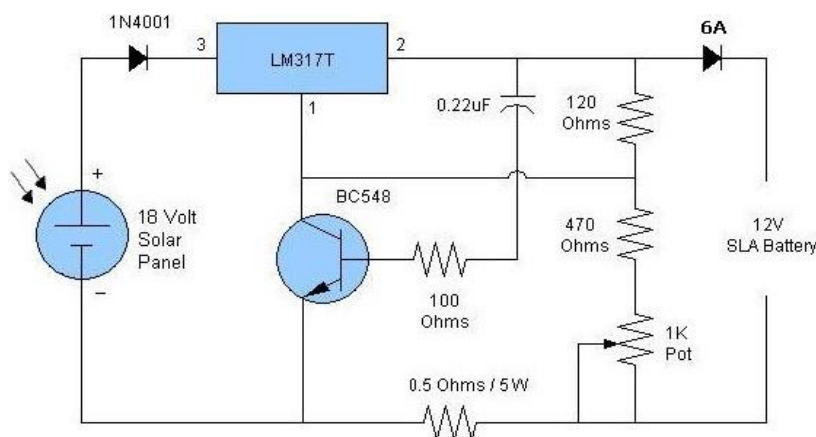
Indukovani napon na solarnim panelima je u funkciji osvjetljenosti koja je različita tokom dana. To znači da bi nam napajanje priključenih potrošača/uređaja bilo nesigurno, a punjenje akumulatora spojenih na panele bilo bi nepouzđano. Da bismo dobili konstantan izlazni napon iza panela i obezbjedili sigurno i pouzdano napajanje iz solarnog sistema, potrebno je spojiti regulator punjenja.

Regulator punjenja postavlja se na mjestu između fotonaponskog panela na jednoj strani i solarnog akumulatora i potrošača na drugoj. Sistemski napon u fotonaponskim sistemima je 12, 24, 48 ili čak 60 V. U najvećem broju primjena sistemski napon je 24 V dok se izlazna struja podešava prema broju upotrebljenih akumulatora. Napon sa fotonaponskih panela treba uskladiti sa naponom solarnog akumulatora. Napon punjenja u pravilu treba biti veći od U_{MPP} napona da bi se i kod viših temperatura akumulator punio. Npr. solarni modul sa 36 – 40 ćelija daje nazivni napon od 15 – 18 V. Kod nižih temperatura napon modula raste na preko 20 V i daleko premašuje krajnji napon punjenja akumulatora. Iz tog razloga regulator punjenja mjeri napon akumulatora i štiti ga od preopterećenja ili putem pravovremenog isključivanja (serijski regulator punjenja) ili putem kratkog spoja fotonaponskog generatora (paralelni regulator punjenja).



Slika 3.1. Regulatori punjenja 15A, 12V/24V (gornja slika) i 30A, 12V/24V (donja slika)

Na elektronskoj šemi sa slike 3.2 vidimo da se fotonaponski panel priključuje direktno na stabilizator napona LM317. Izlazni napon stabilizatora LM317T je u opsegu od 0 – 30 V pa se pomoću potencijometra od 1 k Ω može veoma precizno obezbjediti izlazni napon od 12 V. Naravno, ovo je jeftin i prost regulator ali u potpunosti zadovoljava sve potrebe.



Slika 3.2. Elektronska šema regulatora 18V/12V

Prilikom dostizanja dozvoljenog pražnjenja akumulatora regulira se krajnji napon pražnjanja, tako da regulator odvaja potrošače od akumulatora, uglavnom preko relea, da bi se akumulator zaštitio od dubokog pražnjanja.

Moderni regulatori imaju mikroprocesor i logičke regulatore. Oni fleksibilno reaguju na stanja u fotonaponskom sistemu, mogu prepoznati napunjenost akumulatora i da se usklade sa raspoživim kapacitetom, starošću i temperaturom akumulatora. Osim toga opremljeni su i sa displejima za prikazivanje najvažnijih električnih veličina (slika 3.1).

Kako je veće rečeno, regulator punjena predstavlja veoma važan uređaj solarnog sistema koji se brine o stanju akumulatora štiteći ga od prepunjavanja i dubokog pražnjenja, kao i sigurnosti cijele instalacije obzirom da obično integrira i zaštitu od kratkog spoja na potrošačima.

Dobro izabran regulator punjenja zadovoljava slijedeće radne uslove:

- Optimizira karakteristiku punjenja akumulatora u solarnim modulima
- Spriječava pražnjenje baterije kroz fotonaponske module noću, kada oni ne daju napon.
- Osigurava nadnaponsku i podnaponsku zaštitu baterije.
- Štiti od preopterećenja te kratkog spoja potrošača.
- Povećava iskorištenje Sunčeve energije.
- Umanjuje degradaciju fotonaponskih modula.
- Produžava životni vijek baterije modernim sistemom BOOST/FLOAT punjenja.
- Smanjuje održavanje opreme.

3.1.1. Laboratorijska vježba III: PROSTI REGULATOR PUNJENJA

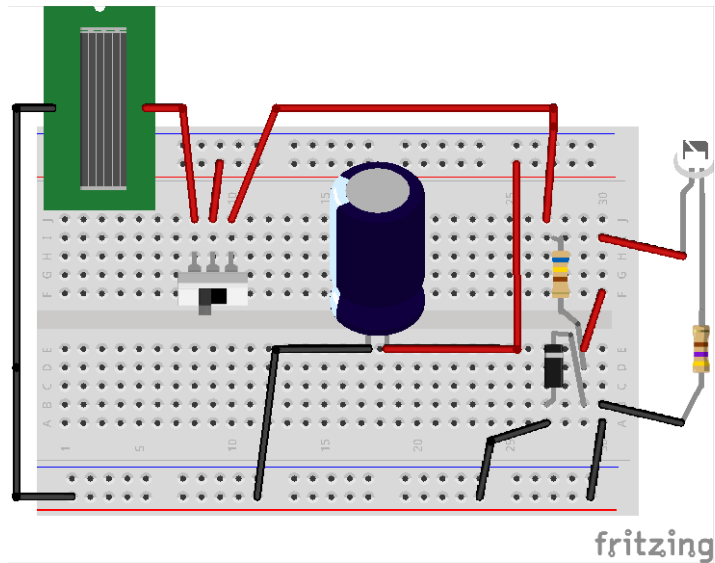
Potrebni materijal i učila:

Solarni modul/i iz I vježbe, LED dioda (bilo koje boje), zaštitni otpor za LED (bilo koji od 100-1000 Ω), Zener dioda (5 V), zaštitni otpor za Zener diodu (bilo koji od 470-1000 Ω), elektrolitski kondenzator (kapacitivnosti 1000-4700 μF / 20-35 V), univerzalni instrument (2 komada).

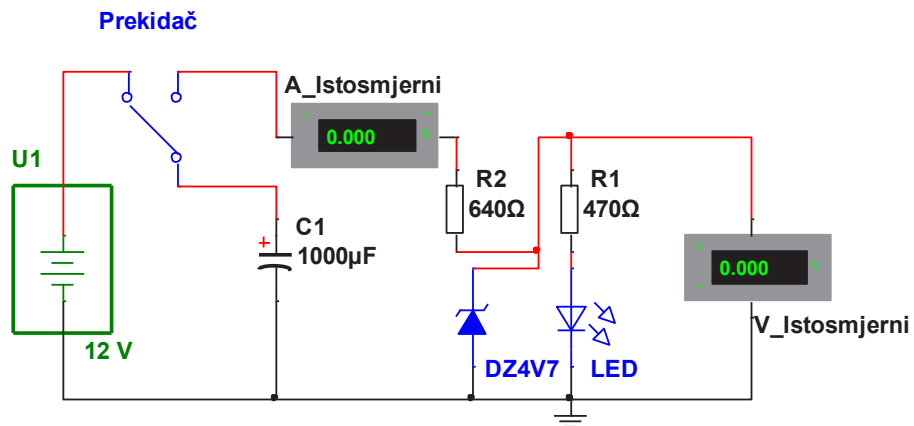
ZADATAK:

1. Spojiti montažnu šemu sa slike 3.3. Napon Zener diodu treba izabrati tako da je minimalno 5 V niži od napona na solarnom panelu. U našem slučaju napon panela 12 V, inverzni napon Zener diode 4,7 V.
2. Mjeriti struju i napon tokom punjenja i pražnjenja kondenzatora. Da li je stabilisani napon na simuliranom potrošaču (LED dioda i njen predotpor) jednak inverznom naponu Zener diode, pri pražnjenju kondenzatora?

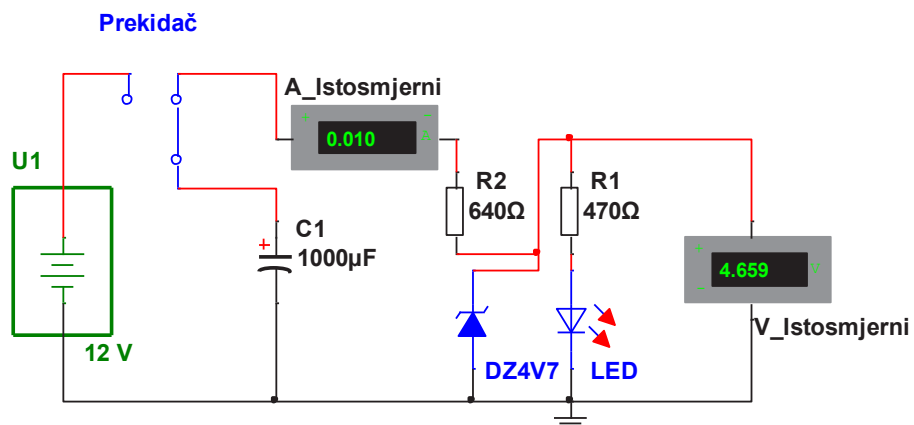
Napomena: Kondenzator treba da je što većeg kapaciteta, a vrijeme punjenja istog što duže.



Slika 3.3. Montažna šema regulatora punjenja sa Zener diodom

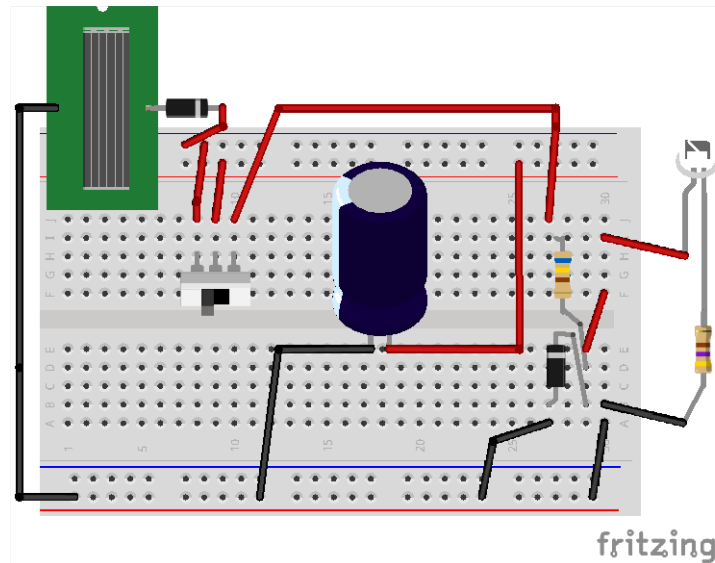


Slika 3.4. Elektronska šema regulatora punjenja sa stabilizacijom napona (punjenje C_1)

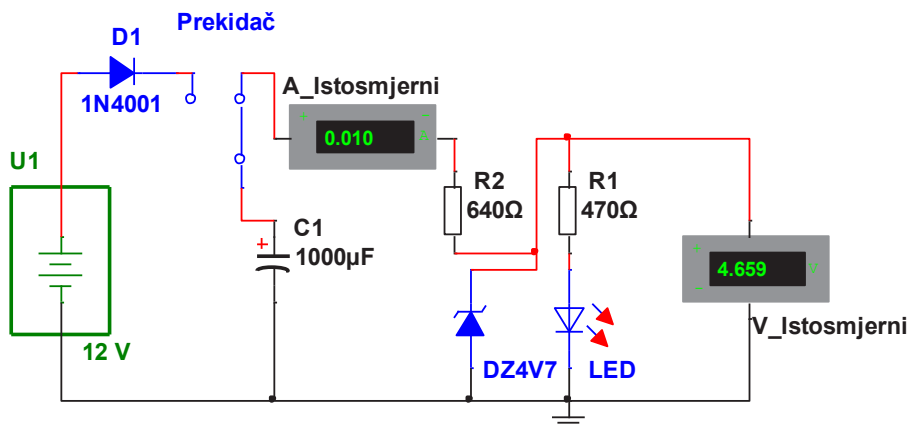


Slika 3.5. Elektronska šema regulatora punjenja sa stabilizacijom napona (pražnjenje C_1)

3. Spojiti montažnu šemu sa zaštitnom diodom pa ponoviti prethodni eksperiment.



Slika 3.6. Montažna šema regulatora punjenja sa zaštitnom poluprovodničkom i Zener diodom



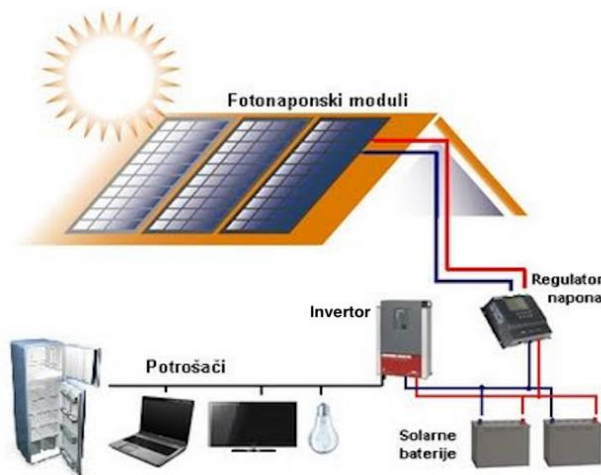
Slika 3.7. Elektronska šema šema regulatora punjenja sa stabilizacijom napona i zaštitnom didom

4. INVERTORI I AKUMULATORI

4.1. INVERTORI – IZMJENIČNI PRETVARAČI

Da bi se u fotonaponskom sistemu mogli snabdivjati energijom, kao standardni kućanski aparati i/ili ostali audio i video uređaji, koriste se izmjenični pretvarači – invertori.

Invertor je elektronski uređaj koji istosmjerni napon sa solarnog generatora (ako je spojen direktno na panel) ili solarnog akumulatora od 12 V (ili 24 V) pretvara u stabilizirani izmjenični napon, sinusnog oblika, od 220 V $\pm 5\%$, 50 Hz $\pm 1\%$.



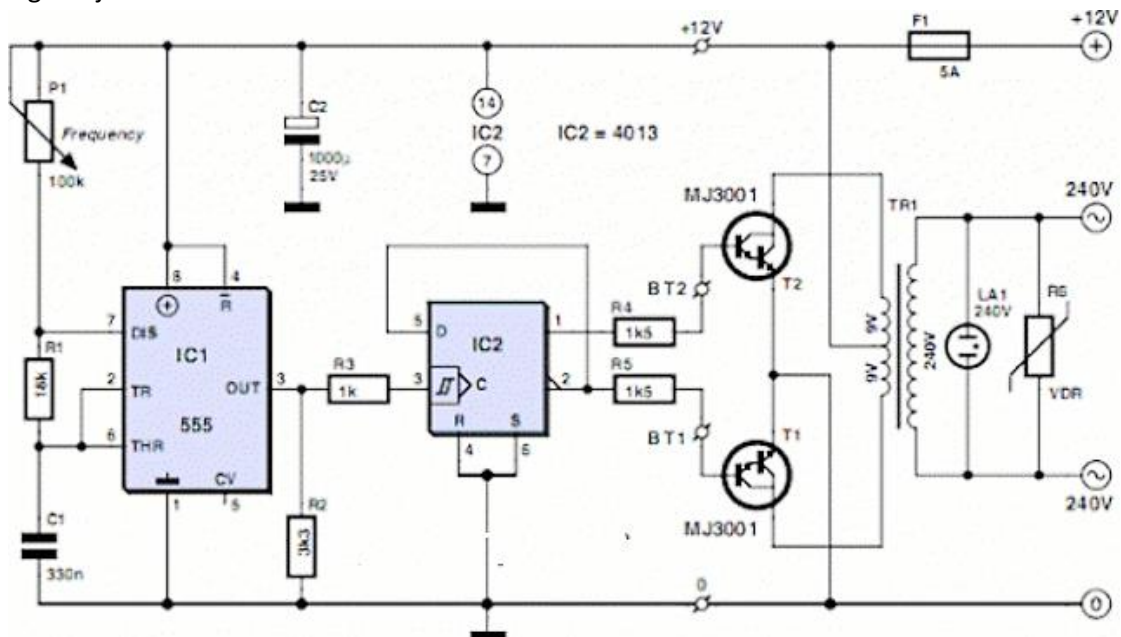
Slika 4.1. Spajanje invertora u fotonaponskom sistemu



Slika 4.2. Invertori od 150 W i 3.000 W

Izlazna snaga invertora treba da odgovara najmanjoj potrebnoj snazi svih uređaja koje snabdijeva, uz neku sigurnosnu rezervu. Maksimalna snaga treba da je dva do tri puta viša od potrebne radi kratkotrajnog preopterećenja i velikih struje pri uključenju uređaja sa elektromotorom (usisivač, frižider, bušilica).

Na tržište se mogu naći i invertori koji u jednom uređaju sadrže sinusni ismjenični pretvarač i solarni regulator punjenja sa zaštitom od dubokog pražnjenja. Na taj način je znatno pojednostavljena instalacija i kabliranje solarnog sistema. Pogledajmo jednu elektronsku šemu invertora za samogradnju.



Slika 4.3. Elektronske šeme invertora snage do 30 VA

Svaki inverter je u osnovi oscilator koji je ovdje podržan sa tajmerom 555 i D-tip flip-flop u CMOS tehnologiji 4013. Izlazna uobličavač su Darlingtonov snažni tranzistori koji napaja primar 2x9 V transformatora. Izlazna snaga sklopa je oko 30 VA.

Osim navedenog dobar inverter ima malu težinu, veliku efikasnost, LCD displej za sve važnije parametre na izlazu, priključak sa PC tako da računar može memorisati i obrađivati podatke iz sistema.

4.2. SOLARNE BATERIJE - AKUMULATORI

Proizvedena energija tokom dana je često potrebna tek u večernjim satima, npr. za osvjetljenje, tako da je potrebno skladištenje (akumuliranje) energije. Isto tako solarna baterija može da premosti duži period lošeg vremena tj. vrijeme tokom kojeg akumulator preuzima kompletno snabdijavanje sistema, bez punjenja. Koriste se u pravilu olovni akumulatori, koji se sastoje iz više ćelija napona po 2 V, smještenih u zajedničko kućište i vezanih u seriju, do napona 12 V ili 24 V. Serijskim spajanjem dva solarna akumulatora udvostručuje se napon (V), a paralelnim spajanjem udvostručuje se kapacitet (A/h – amper/sati). Primjer: za energetske potrebe od 1.200 W/h, uz napon akumulatora od 12 V potreban je kapacitet akumulatora od:

$$1.200 \text{ W/h} : 12 \text{ V} = 100 \text{ A/h}$$

Olovno-solarni akumulatori sa tečnim elektrolitom su modificirani akumulatori za automobile, sa pojačanim mrežastim pločicama. Oni se odlikuju dva do tri puta stabilnijim ciklusima i s time povezanom dužinom vijeka trajanja. Ovi akumulatori daju više eneergije kod sporog pražnjenja malim strujama. Krajnji napon punjenja akumulatora definira proizvođač, a on se mora podesiti na regulatoru punjenja. Da bismo povećali životni vijek akumulatora trebalo bi ga dva do tri puta godišnje neznatno prepuniti, ali voditi računa o efektu stvaranja plina (vodika) uslijed prepunjavanja.



Slika 4.4. Solarni akumulator

Olovno-žalatinasti akumulatori sadrži žele koji zamjenjuje kiselinu. Imaju povećan ciklus stabilnosti i nije potrebno nikakvo posebno održavanje. Kućište mu je hermetički zatvoreno pa se može ugraditi u svakom položaju, ali trebaju posebne regulatore punjenja.



Slika 4.5. Solarni akumulator Trojan SAGM 12V 135Ah

Fiksni OpzS akumulatori sa tečnim elektrolitom ili Fiksni OpzV akumulatori sa želeom su namjenjeni za dugi neprekidni rad (10 – 15 godina). Pogodni su za sisteme sa većom potrošnjom struje i imaju do pet puta veći stabilnost ciklusa punjenja, što se odražava i na cijeni.



Slika 4.6. Solarni akumulator tipa Victron OPzV (gel)

4.2.1. Laboratorijska vježba IV: SINUSNI INVERTOR 12V/220V

Potrebni materijal i učila:

Solarni panel modul 40W poly 18V – 2,2A, regulator punjenja 12/24V 10A, Invertor 12V/220V 300W sinusni, akumulator 12V 22Ah, LED sijalica/e (5-12 W, može i obična sijalica od 40 W), solarni kablovi, konektori, multimetri.

ZADATAK:

1. Spojiti elemente hobi solarnog sistema sa slike 4.7 u funkcionalan uređaj. Voditi računa o izboru optimalnog položaja solarnog modula, kako je objašnjeno u prethodnim vježbama.
2. Prije priključenja LED sijalice kao potrošača, izvršiti mjerenja dobijenih istosmjernih i izmjeničnih napona.

Napomena: Ovo je najosnovniji paket, predviđen za hobi upotrebu na vikendicama, čamcima ili kućnoj upotrebi tokom vikenda i tokom ljetnog perioda. Ovakav sistem se može koristiti kao nastavno učilo u svrhu promoviranja OIE, posebno energije Sunca. Predviđen je za male potrošače, kao što su LED rasveta, radio, mobilni telefon, laptop računari i sl.



Slika 4.7. Ilustracija elemenata hobi solarnog sistema

5. OFF-GRID SOLARNI SISTEMI

5.1. PODJELA FOTONAPONSKIH SISTEMA

Snabdijevanje električnom energijom nezavisno od javne distributivne mreže postaje interesantno za objekte koji su udaljeni po strani kao što su vikendice, planinske kuće, kamp kuće, mjerne i radio-stanice, usamljeni objekti na autoputevima, tuneli itd.

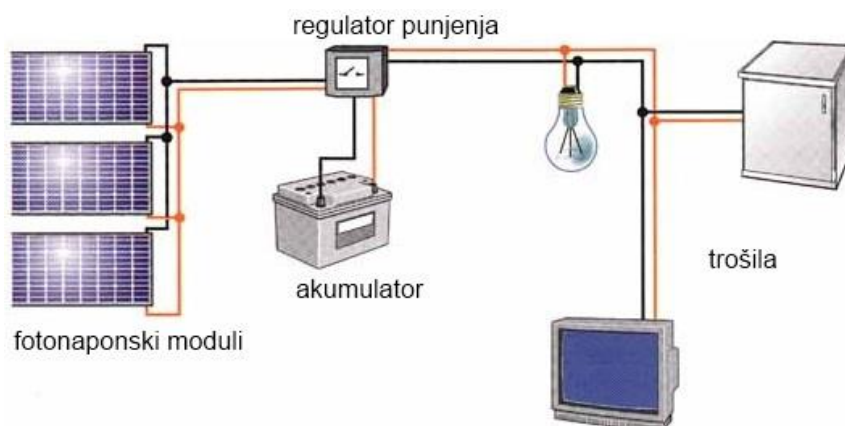
Fotonaponski sistemi mogu biti instalirani u distributivnoj mreži ili raditi samostalno, pa u odnosu na to razlikujemo dva režima rada:

- a) rad nezavisan (autonoman) od javne distributivne mreže – off-grid sistemi,
- b) rad u javnoj distributivnoj mreži – on-grid sistemi.

5.2. OFF-GRID SISTEMI

Za samostalan fotonaponski sistem (off-grid system), pomoću kojeg treba realizirati snabdijevanje samo nekoliko potrošača, potrebno je:

- samo nekoliko solarnih modula, koji se sastavljaju u fotonaponski generator,
- jedan akumulator većeg kapaciteta, i
- jedan regulator punjenja.



Slika 5.1. Off-grid fotonaponski sistem

Fotonaponski panel – generator puni akumulator dok Sunce sija. Regulator punjenja vodi računa da se akumulator ne prepuni ili ne isprazni do kraja, jer u oba slučaja može doći do uništenja akumulatora. Problem bi moglo predstavljati preopterećenje, rezultat kojim je neželjeno isključenje struje. To se neće događati ako je dobijeni energetske prihoda poklapa sa energetske potrebama ili je prihoda malo veći, što poskupljuje sistem.

Osim navedenog, treba voditi računa da su priključeni električni uređaji i potrošača podešena na istosmjernu naponsku novoe iz solarnog panela i akumulatora (istosmjerni napon od 12, 24 ili 48 V). Ako želimo koristiti potrošače koji rade na 220 V, potreban je i izmjenični pretvarač (invertor) sa 12 V istosmjernog na 220 V, 50 Hz izmjeničnog napona. Naravno, moguć je i kombinirani rad kod kojeg se istosmjerni potrošači snabdijevaju direktno sa regulatora punjenja, a izmjenični potrošači sa pretvarača – invertora od 220 V.

5.3. DIMENZIONIRANJE FOTONAPONSKIH SISTEMA⁴

Prije dimenzioniranja ili bilo kakvih proračuna treba imati na umu da *teba preduzeti sve mjere štednje energije i koristiti energetske efikasne uređaje*, pa tek onda takve uređaje spajati na fotonaponski sistem.

Pokazaćemo metodu pogodnu za garaže, vikendice, kuće i stanove, kao i postrojenja sa malim energetskim potrebama. Za kompleksnije probleme preporučujemo veliki niz besplatnih softvera.

Tok planiranja je sljedeći:

1. Određivanje ukupne snage i ukupne potrošnje,
2. Dimenzioniranje fotonaponskog generatora (vrh snage generatora u Wp), i
3. Dimenzioniranje solarnih akumulatora (kapacitet u As).

5.3.1. Određivanje ukupne snage i ukupne potrošnje

Tabela 5.1. Proračun ukupnih energetskih potreba zamišljenog objekta (npr. vikendica)

Potrošači	Određivanje ukupne snage i potrošnje		
	Nazivna snaga (W)	Dnevno radno vrijeme (h)	Potrebna energija (Wh)
4 sijalice (25 W)	100	2	200
1 frižider	150	2	300
1 TV aparat	100	2	200
1 pumpa	100	3	300
Ukupno snage:	450	Ukupne energetske potrebe: 1.000	

I Korak:

Da bismo pravilno dimenzionirali fotonaponski sistem moramo prvenstveno proračunati ukupnu snagu uređaja koji se koriste. Sastavi se lista sa potrebnim potrošačima i uređajima unoseći njihove nazivne snage (obično naznačeno na uređajima u W ili kW).

Izvršimo procjenu dnevnog radnog vremena uređaja i unesemo u tabelu 5.1. Dnevne energetske potrebe dobiju se množenjem dnevnog vremena i nominalne snage.

II Korak:

Sljedeći korak je proračun maksimalne struje koja se uzima iz fotonaponskog sistema, a dobije se djeljenjem maksimalne snage sa naponom solarnog akumulatora koji se koristi (u našem slučaju 12 V).

$$450 \text{ W} : 12 \text{ V} = 37,5 \text{ A}$$

Za ovako veliku struju trebaju nam vodovi velikog poprečnog presjeka kao i regulator za struje preko 30 A, što poskupljuje investiciju. Rješenje i praktična realizacija je korištenjem akumulatora višeg napona (24 V ili 2x12 V u seriju).

$$450 \text{ W} : 24 \text{ V} = 18,75 \text{ A}$$

To znači, da kada se uzme u obzir sigurnosna rezerva od 25%, može se koristiti regulator punjenja do 30 A i vodovi manjeg poprečnog presjeka.

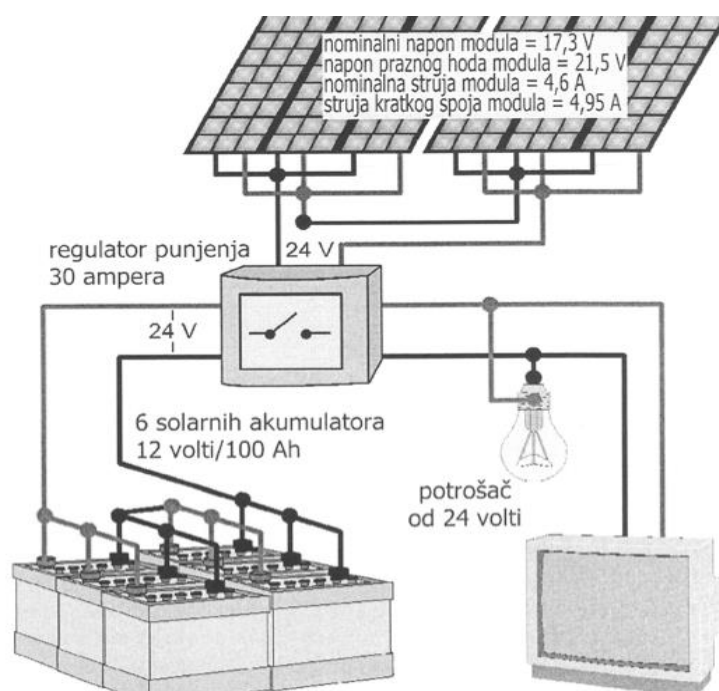
⁴ H. J. Geist, Fotonaponska postrojenja, Agencija Eho, Srbija 2015.

5.3.2. Dimenzioniranje fotonaponskog generatora

Za računanje ove vrijednosti treba poznavati količinu globalnog zračenja (direktno + difuzno) na zadanoj geografskoj širini, s jedne strane i učestanost i dužinu trajanja zračenja.

Dimenzioniranje fotonaponskih generatora vrši se uzimajući u obzir srednje dnevno zračenje. Zato je potrebno poznavati meteorološke podatke za željenu lokaciju. Takvi podaci o vrijednosti zračenja na horizontalnoj ravni, za gradove i/ili regije u Bosni i Hercegovini, dostupni su na stranicama Državnog hidrometeorološkog zavoda FBiH (www.fhmzbih.gov.ba).

Ako želimo više mjeseci koristiti fotonaponski sistem uzimamo podatke iz mjeseca u kome je zračenje najmanje, jer će u ostalim mjesecima proizvodnja energije uvijek biti viša.



Slika 5.2. Fotonaponski sistem napajan sa 6 modula

Potreban broj fotonaponskih modula izračunamo iz odnosa pojedinačne snage modula i željene snage fotonaponskog generatora. Za standardni modul od 80 Wp (Wati/peak) i željeni fotonaponski generator od 500 Wp potrebno je:

$$500 \text{ Wp} : 80 \text{ Wp} = 6,25 \approx 6 \text{ modula}$$

Pošto želimo solarni akumulator na 24 V, ne vrijedi sve panele vezati paralelno, zbog malog nominalnog napona (oko 17 V), nego se po tri modula vezuju serijski i dobijemo dva kraka koji se onda vežu paralelno. Tako smo dobili napon pogodan za punjenja solarnog akumulatora od 24 V.

U ovom slučaju regulator punjenja treba podržavati maksimalnu struju plus sigurnosnu rezervu od bar 25%. Iz tehničkih podataka za modula od 80 Wp vidimo da mu je struja kratkog spoja oko 4,95 A. Pošto smo vezali tri modula paralelno struja kratkog spoja je:

$$3 \times 4,95 \text{ A} = 14,85 \text{ A} \pm 25\% = 18,56 \text{ A}.$$

To znači, da bismo mogli koristiti regulator punjenja do 20 A, ali treba uvijek imati u vidu dodatno proširenje sa brojem modula i od početka računati sa malo snažnijim komponentama, pa je to razlog da usvajamo regulator punjenja od 30 A, kako je prikazano na slici 3.17.

5.3.3. Dimenzioniranje solarnih akumulatora

Kapacitet pojedinačnog solarnog akumulatora izražen u As preračunavamo iz dnevnih energetske potrebe (npr. 1.000 Wh) i sistemskog napona od 24 V:

$$1.000 \text{ Wh} : 24 \text{ V} = 41,66 \text{ Ah}$$

ali, stvarni potrebni kapacitet akumulator dobije se prema formuli:

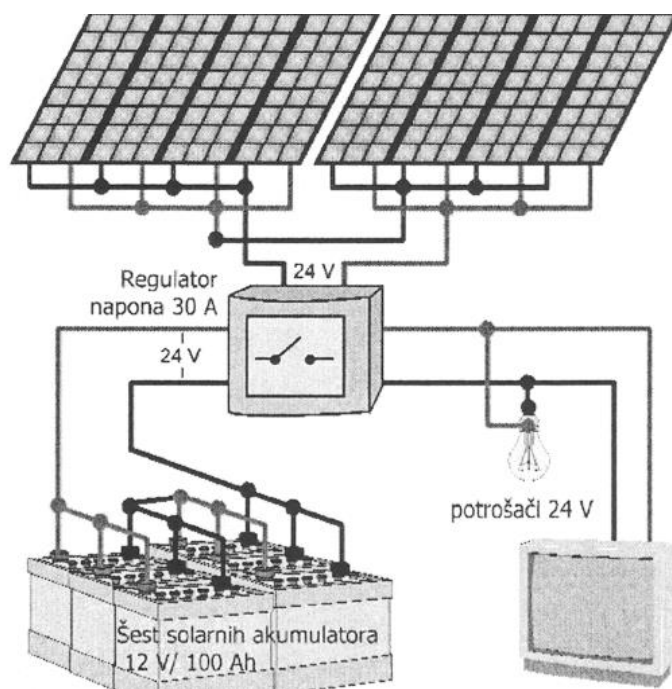
$$C_{AKU} = \frac{2 \cdot E_{DNEV} \cdot F_{DAN}}{U_{SIS}} = \frac{2 \cdot 1.000 \cdot 3}{24} = 250 \text{ Ah}$$

gdje je:

- C_{AKU} – Ukupan kapacitet solarnih akumulatora
- E_{DNEV} – dnevne energetske potrebe
- F_{DAN} – broj dana autonomije. Kada fotonaponski generator ne daje energiju (nema dnevnog sunca), uzima se brojčano i iznosi 3 – 6 dana

Faktor 2 u gornjoj formuli uzet je kao brojačana vrijednost koja uzima u obzir da proizvođački podaci za akumulator treba da budu preuzeti sa 30 – 70% ukupnog kapaciteta. Broj 2 odgovara vrijednosti 50%.

Ukupan broj akumulatora je sada: $250 \text{ Ah} : 41,66 \text{ Ah} = 6$ komada



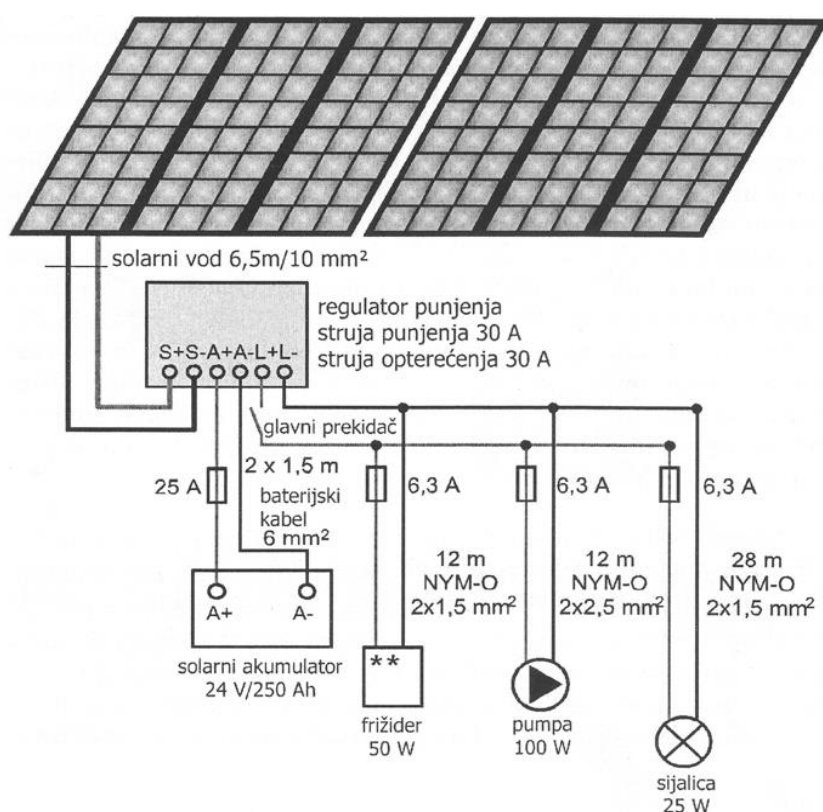
Slika 5.3. Proširenje broja modula istog tipa bez izmjena elemenata sistema

Izaberemo, dakle, akumulatora napona 12 V i kapaciteta 100 Ah, kako je prikazano na slici 5.3. Vežemo akumulatora po dva u seriju i dobijemo potrebni napon od 24 V, pri čemu kapacitet ovakve veze ostaje

100 Ah, a onda formiramo tri paralelne grupe pa nama napon ostaje 24 V, a kapacitet se povećava do 300 Ah. Premašili smo energetske rezervu za 50 Ah. To nam pruža mogućnost npr. proširenja fotonaponskog generatora sa još dva modula istog tipa. Navedeno povećanje broja modula nam produžava maksimalno radno vrijeme potrošača i/ili povećava vremenski period dana autonomije.

Kompletna šema spoja za fotonaponski sistem od 24 V sa regulatorom punjenja od 30 A, solarnim akumulatorom od 24 V i tri potrošača je prikazan na slici 5.4. Za ožičenje modula pogodan je visokofleksibilni kabl tipa H07RN-RNF, tzv. solarni vod. Ovi su vodovi otporni i na UV utjecaje i postojani u opsegu -50 do 120 °C.

Vodovi se obilježavaju standardno u crvenoj boji ("+" vod) te crnoj i plavoj boji ("- " vod).



Slika 5.4. Kompletan off-line fotonaponski sistem od 500 Wp

5.3.4. Laboratorijska vježba V: PRORAČUN OFF-GRID SOLARNOG SISTEMA

Potrebni materijal i učila:

Solarni panel modul 40W poly 18V – 2,2A, regulator punjenja 12/24V 10A, Invertor 12V/220V 300W sinusni, akumulator 12V 22Ah, LED sijalica/e (5-12 W, može i obična sijalica od 40 W), solarni kablovi, konektori, multimetri.

ZADATAK:

Laboratorijska vježba V:

1. Izvršiti proračun elemenata off-grid solarnog sistema za vlastiti stan, kuću, vikendicu prema uputstvima datim u teorijskom dijelu.
2. Izvršiti analizu koštanja sistema prema dostupnim cijenama komponenti na tržištu.
3. Analizirati vaše podatke u bilo kojoj aplikaciji koja tretira ovu oblast. Porediti rezultate.

6. ON-GRID SOLARNI SISTEM OD 4kW

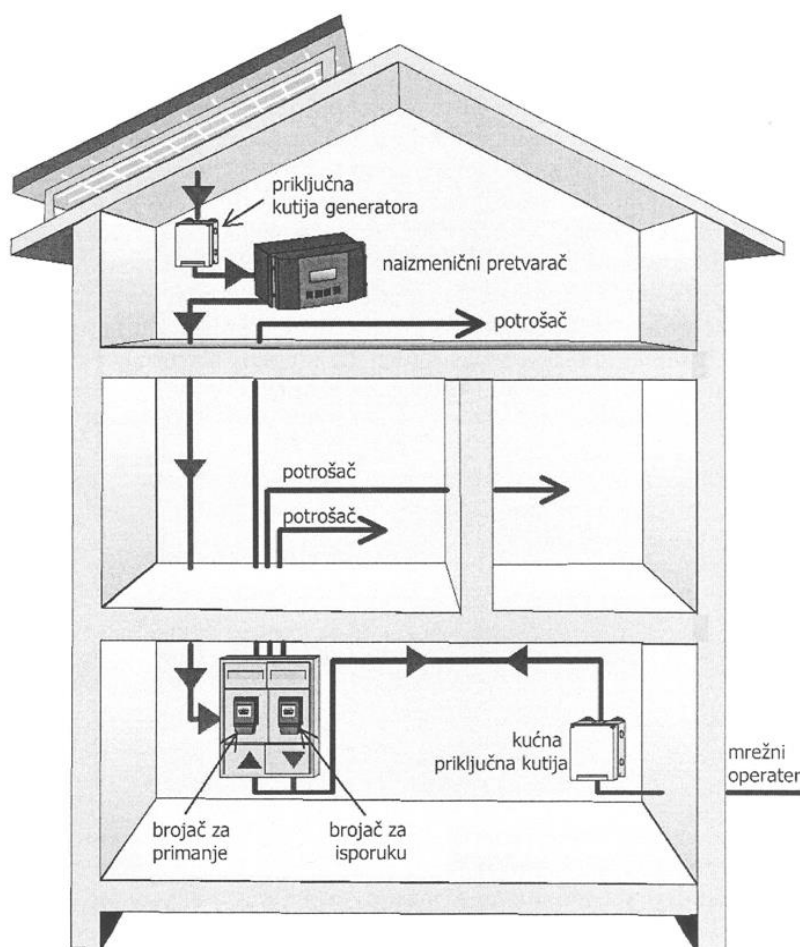
6.1. ON-GRID FOTONAPONSKI SISTEMI

Ako želimo fotonaponski sistem povezati na javnu distributivnu mrežu trebamo istosmjerne nivoje struja i napona pretvoriti u izmjenične koji su usaglašeni sa mrežom. To je tzv. on-grid režim rada fotonaponskog sistema i obično nije kombiniran sa bilo kakvim potrošačima povezanim na istosmjernim nivoima, jer to umanjuje efikasnost sistema.

6.1.1. Mrežni pretvarači – invertori za on-grid

Invertori i fotonaponski generator su usklađeni po snazi, naponskim i strujnim nivoima. Invertori mogu raditi nezavisno od javne mreže (samoupravljivi, off-grid) i u sastavu javne mreže (mrežni invertori). Mrežni inverter mora prepoznati eventualno isključenje mreže, i greške u sistemu, te nakon nekoliko sekundi automatski se isključiti.

Mjesto postavljanja invertora treba biti što bliže fotonaponskom generatoru, suho, hladno, provjetreno ali bez direktnog Sunčevog zračenja. Prave se za snage nekoliko 100 do više 1.000 W. U principu mjesto postavljanja bi trebalo biti u zgradama, manje podložno utjecajima, a i kraći su vodovi istosmjerne struje.



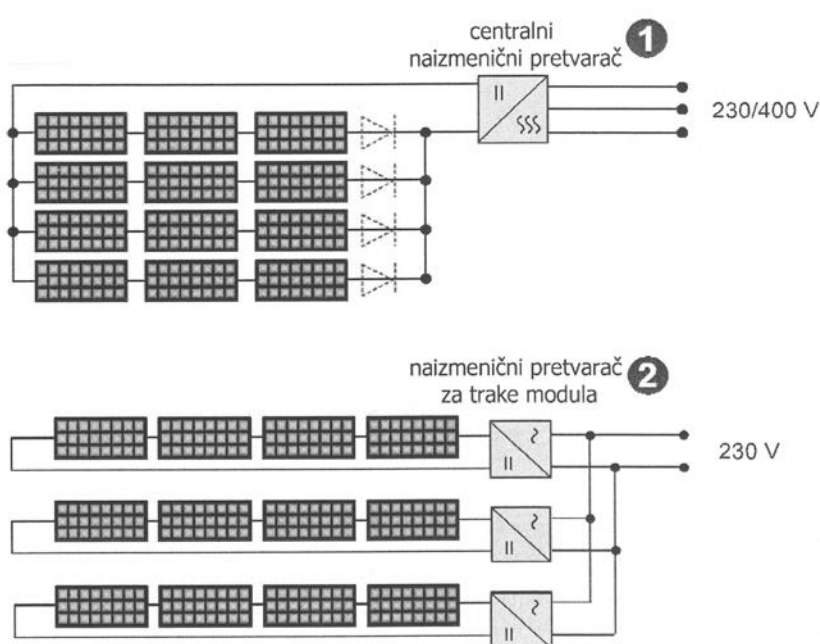
Slika 6.1. Preporuka izbora mjesta za postavljanje invertora

Spajanje invertora na fotonaponski generator može biti:

- centralizirano (jedan snažni inverter)
- sektorsko (za svaki sektor jedan inverter)

Ako se više modula standardno veže u seriju radi postizanja naponskih nivoa, a onda paralelno radi održanja konstantnih struja punjanja, inverter se može vezati na istosmjernim stezaljakama u tzv. centralno spoju, tj. jedan inverter za cjelokupan fotonaponski generator. Ovaj način spajanja podrazumijeva snažne inverore, koji su obično sa trofaznim izmjeničnim izlazima (do 400 V).

Ako se više fotonaponskih panela veže u sektore sa istim brojem panela u svakom sektoru (2, 3 ili više) onda se za svaki sektor može postaviti inverter. Obično se radi o inverterima manje snage za monofazni izmjenični izlaz, koji su vezani paralelno. Dobija se strujno stabilnije postrojenje, manji troškovi i veća energetska efikasnost.

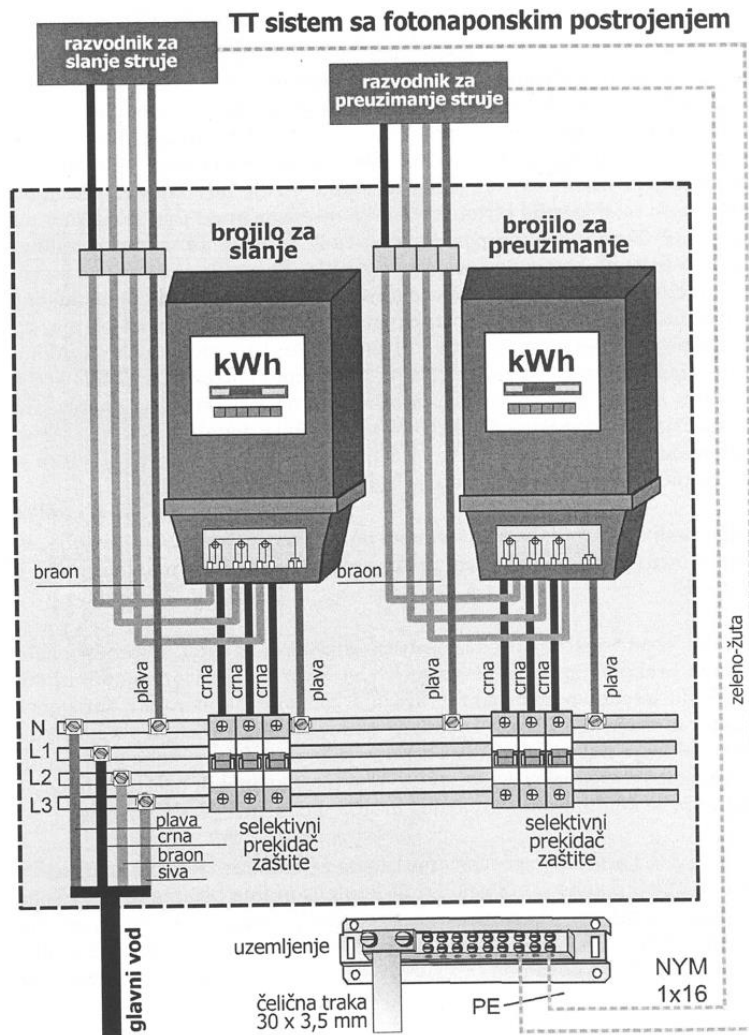


Slika 6.2. Spajanje trofaznih i monofaznih invertora

Za priključenje on-grid solarne elektrane na niskonaponsku mrežu moraju se poštovati legislativa propisana u Zakonu o korištenju obnovljivih izvora energije i efikasne kogeneracije, Pravilnik za mikro-postrojenja obnovljivih izvora energije (npr. smjernice za priključenje i paralelan rad postrojenja za proizvodnju energije na niskonaponsku mrežu), kao i drugi tehnički uslovi priključenja.

6.1.2. Mjerenje isporučene/preuzete energije u on-grid sistemu

U on-grid sistemima se cjelokupna energija na priključnom mjestu isporučuje u niskonaponsku distributivnu mrežu. Za mjerenje ove energije koristi se posebno brojilo, tzv. brojilo za slanje i obračun solarne energije (monofazno ili trofazno). AC izlaz iz invertora mora biti doveden do ormara sa brojilima i iza ovog brojila spojen na mrežu. Tako su mrežni napon i napon fotonaponskog sistema nezavisini. Ako se radi o fotonaponskim sistemima do 30 kVA mjerenje se odvija preko trofaznog brojila.



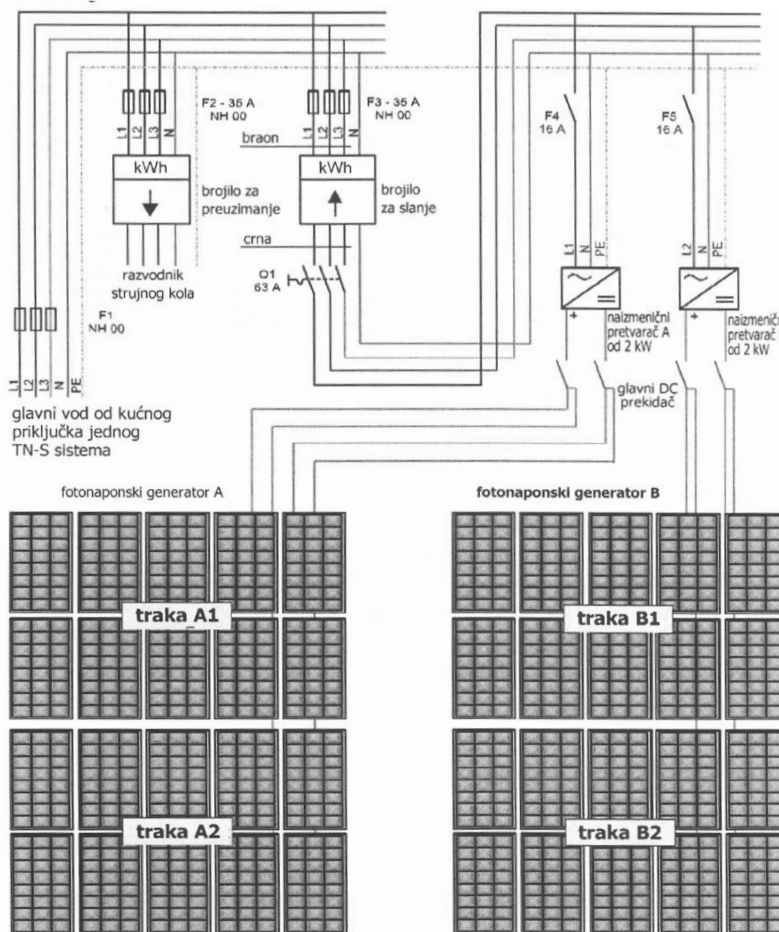
Slika 6.3. TT sistem sa fotonaponskim generatorom

Na slici 6.3 je prikazano povezivanje brojila za mjenje slanja/preuzimanja energije u trofaznom TT sistemu.

Priključenje brojila za slanje enegije iz fotonaponskog generatora je obavljeno vodovima koji su vezani tako da se brojilo okreće i broji u suprotnom smjeru. To znači da se dolazni vod iz fotonaponskog sistema priključuje na brojilo za slanje energije kao i dovod iz mreže na brojilu za preuzimanje energije. Upravljačka jedinica ne smije bit povezana sa brojilom za slanje iz fotonaponskog sistema. Bilo koja druga izmjena opreme u ormaru zahtijeva usaglašavanje sa mrežnim operaterom. Uputstva o tome se uglavnom mogu naći u objašnjenjima tarifnog sistem mrežnog operatora. Ostali postupci za prijavljivanje i povezivanje na mrežu nisu predmetom ovog priručnika.

6.1.1. Laboratorijska vježba VI: PRIMJER SOLARNE ELEKTRANE OD 4 kW

Primjer prikazuje izvedbu i tokove struja za fotonaponski sistem od 4 kWp. Sastoji se od dva fotonaponska generatora i dva invertora. Svaki fotonaponski generator ima po 40 modula, pojedinačne snage od 100 W, grupisanih po 10 u seriju (traka od 10 modula). Na invertorima su po dvije trake, od 10 modula koji su vezani paralelno.



Slika 6.4. Energetski tokovi fotonaponskog sistema od 4 kWp

Orijentacija fotonaponskog sistema je prema jugu pod uglom od 30°, a godišnji energetski prihod oko 4.200 kWh. Na slici 6.4 su prikazani energetski tokovi sa dva brojila, jednim brojilom za slanje energije is solarnog sistema i drugim za preuzimanje energije iz mreže u TN-S sistemu.

Tabela 6.1. Tehnički podaci za fotonaponskog sistema od 4 kWp

Fotonaponski sistem od 4 kWp	Tehnički podaci
Maksimalna DC snaga po invertoru (izmjeničnom pretvaraču)	2,2 kW
Maksimalna AC snaga po invertoru	2,1 kW
Snaga fotonaponskog generatora	2x2 kWp
Površina fotonaponskog generatora	33,8 m ²
Ukupan broj modula	40 kom.
Tip modula	RWE Schott Solar 100 Wp
String MPP napona na -10 °C	402 V
String MPP napona na 50 °C	305 V
String MPP napona na 70 °C	272 V
Minimalni MPP napon	125 V
Napon praznog hoda trake na -10 °C	482 V
Maksimalni dozvoljeni napona invertora	600 V
Maksimalno dozvoljena struja fotonaponskog generatora	5,8 A
Maksimalno dozvoljena DC struja	7,2 A

7. ENERGIJA VJETRA

7.1. VJETROGENERATORI

Vjetar je jedan od prirodnih izvora energije koji će uvijek biti raspoloživ. Energija vjetra posljednjih godina zauzima sve veće mjesto u proizvodnji električne energije iz obnovljivih izvora te izgleda kao najperspektivniji izvor energije budućnosti.

Tehnologija iskorištavanja energije vjetra je sve više dostupna i u neprekidnom je napretku. Vjetroelektrane pobuđuju zanimanje ne samo malih privatnih investitora, već i velikih elektroenergetskih kompanija. Vjetrogeneratori su postali specijalizirani za skoro sve klimatske uslove i za sve vrste terena, pa ih se može pronaći u tropskim područjima, kao i u arktičkim uslovima. Dimenzije su im sve veće i veće. Na najvećim svjetskim vjetrogeneratorima kombinirana visina stuba i lopatice doseže visine i iznad 200 m. Pojedinačna snaga nekih vjetrogeneratora prelazi 6 MW.

Komponente vjetroturbina se mogu više puta koristiti, a lako se sastavljaju i rastavljaju. Vijek trajanja im je 20 godina, a može proizvesti 30 do 82 puta više energije nego što je potrebno za njezinu izradu, dostavu, korištenje i demontažu.

Tehnologija visokih vjetroelektrana je ekonomski isplativa, s obzirom da je procijenjeno da bi vjetroelektrane mogle proizvoditi električnu energiju po cijeni od 2 euro-centa po kWh. Mjerenja infrazvuka na vjetroelektranama su pokazala da zvuk ima duboku frekvenciju koje ljudsko uho ne može osjetiti. Različite studije su ustanovile da se divljač vrlo brzo privikava na turbine. Problem zalijetanja ptica u rotore se pokazao puno manjim od očekivanog, jer ptice instiktivno prepoznaju pokretne predmete i reagiraju izmicanjem.

7.2. OSNOVNI DIJELOVI VJETROGENERATORA

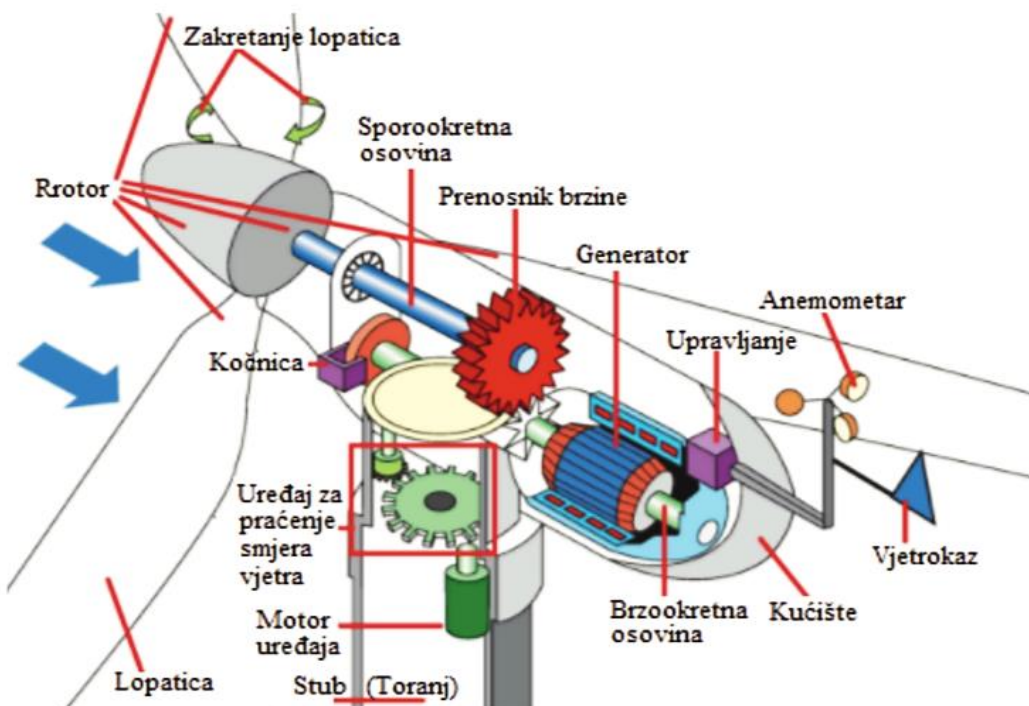
Rotor se sastoji od glavčine i lopatica. Lopatice se zakreću tako da se profil namjesti u optimalni položaj. Regulacija takve vrste je složena i skupa, a rotori se izvode za primjenu položaja lopatice čija je dužina od 25 do 30 metara. Aerodinamički uzgon pokreće lopatice rotora. Lopatice imaju visok stepen pretvaranja energije vjetra u mehanički rad. Zbog najpraktičnije i najisplativije konfiguracije koriste se tri lopatice.

Lopatice se dijele na:

- lopatice sa pokretnim vrhovima
- lopatice sa krilcima.

Generatori za vjetrogeneratore imaju posebnu konstrukciju jer rade sa promjenjivim snagama. Svi jači vjetrogeneratori koriste generatore izmjeničnog napona. Generatori se hlade zrakom. Kućište ima dvije funkcije. Štiti generator od utjecaja okoliša, ali i štiti okoliš od buke koju sistem proizvodi. Stub je najčešće cijevaste izvedbe, ali može biti i rešetkasti. U unutrašnjosti stuba najčešće se nalaze stepenice, a kod većih izvedbi ugrađuje se lift. Transformator koji povezuje vjetrogenerator sa niskonaponskom, distributivnom mrežom, kontrolna i mjerna jedinica nalaze se u podnožju.

Vjetrogeneratori su od metala pa su zaštićeni od udara groma gromobranom. Zato ih treba smjestiti dalje od naseljenih područja (min. 3 km).



Slika 7.1. Dijelovi vjetrogeneratora⁵

7.3. PODJELA VJETROTURBINA

Vjetrogeneratori su usavršeni na tri načina: funkcionalno, tehnološki i aerodinamički.

Vjetro turbine, s obzirom na položaj ose rotora, mogu biti:

1. vjetro turbine sa horizontalnom osom rotora
2. vjetro turbine sa vertikalnom osom rotora

Vjetro turbina sa horizontalnom osom rotora (HAWT – Horizontal Axis Wind Turbine) može imati dvije izvedbe lopatica rotora. Lopatice rotora mogu biti smještene sa zavjetrinske strane stuba ili sa strane udara vjetra u stub. Sve više dolazi do razvoja vjetro turbina sa strane direktnog udara vjetra i dvije lopatice. Razlozi su lakše postavljanje, niža cijena i veća pouzdanost.

Vjetro turbine sa vertikalnom osom rotora (VAWT – Vertical Axis Wind Turbine) rade pri malim brzinama vjetra pa imaju slabije iskorištenje. Ipak, njihova prednost je ta da je turbina efikasna i bez direktnog udarnog talasa vjetra. To je najpogodnije na lokacijama gdje je smjer vjetra promjenjiv. Glavna osobina VAWT turbina je korištenje energije iz vjetrova različitih smjerova.

⁵ <http://www.vjetroelektrane.com/moderni-vjetroagregati-i-pretvorba-energije>

VAWT turbine se mogu podijeliti na:

1. Darrieusove turbine
2. Savoniusove turbine.

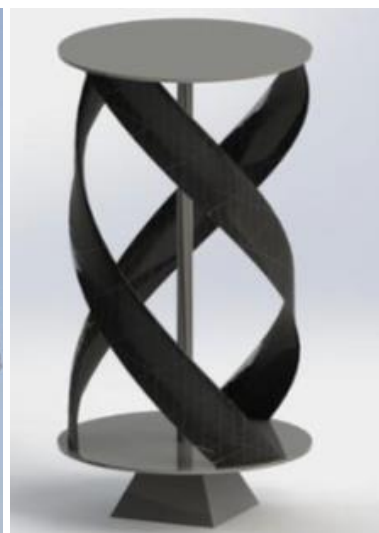
Darrieusova turbina (slika 7.2) se izrađuje sa dvije ili tri lopatice i radi po načelu flotacije. Lopatice su dugačke i tanke u obliku slova C. Spojene su pri vrhu i dnu vertikalne ose. Zbog slabog početnog okretnog momenta potreban im je vanjski izvor struje koji im pomaže kod pokretanja. Stabilnost im je slabija pa se pridržavaju metalnim kablovima, što nije uvijek najpraktičnije rješenje.



Slika 7.2. Darrieusova turbina



Slika 7.3. Savoniusova turbina



Slika 7.4. Gorlov turbina

Savoniusov tip turbine je izumljen u Finskoj (slika 7.3). Karakteristična je po obliku slova S. Kretanje turbine je relativno sporo, ali može stvarati značajan okretni moment. Savoniusove turbine se koriste uglavnom u domaćinstvima zbog nemogućnosti proizvodnje većih količina električne energije.

Zbog nekih nedostataka Darrieusove turbine, dizajneri su došli do rješenja kako poboljšati i unaprijediti ovu turbinu. Dizajnirana je spiralna Gorlov turbina koja koristi spiralne lopatice (slika 7.4). Prednosti turbine su samopokretanje, nije potreban vanjski električni izvor, a buka i vibracije svedene su na minimum. Step en iskorištenja ove turbine je do 35%.

Vjetrogeneratori se s obzirom na mjesto korištenja dijele na:

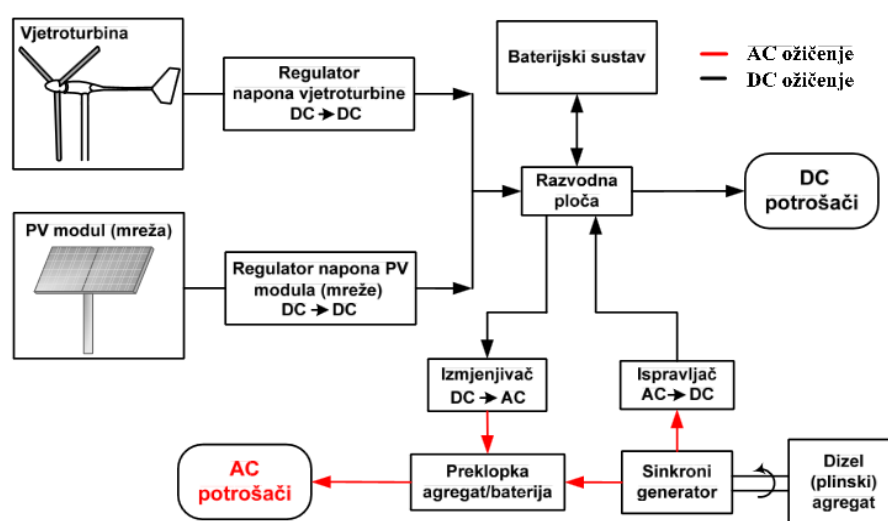
- kopnene (on-shore)
- priobalne, morske ili okeanske (off-shore)

Kopnenih vjetrogeneratora ima najviše, a i koriste se najduže. Najčešće su smješteni u brdovitim područjima i na odgovarajućoj udaljenosti od naseljenih mjesta. Priobalni vjetrogeneratori se postavljaju na moru, najčešće u priobalnom području. Grade se na područjima gdje dubina vode iznosi maksimalno 60 m. Instaliranje morskih vjetrogeneratora je znatno skuplje od kopnenih zbog viših tornjeva koji se postavljaju. Prenos proizvedene električne energije do kopna je putem podmorskih kablova. Visoka je cijena održavanja ovih vjetrogeneratora zbog zaštite od korozije. Da bi se spriječila korozija, dodaju se dodatni premazi i katodna zaštita. Vjetroelektrane koje su smještene na moru mogu imati i preko 100 vjetrogeneratora.

7.4. SAMOSTALNI - HIBRIDNI ENERGETSKI SISTEM

Samostalni, nezavisno, ostrvski ili hibridni energetski sistemi su takvi sistemi u kojima se električna energija akumulira u baterije ili akumulatore. Time se osigurava potpuna energetska nezavisnost. Takvi sistemi su najpogodniji na mjestima gdje nije moguća izgradnja električne mreže ili njena izgradnja nije ekonomična.

Kod planiranja nezavisnih sistema se osigurava dovoljna količina energije u svakom trenutku. Isto tako, popisuju se svi električni uređaji i vrši se procjena rada za svaki uređaj posebno. Iz tih podataka se dobije potrošnja na osnovu koje se vrši izbor dijelova sistema, te se vodi računa o maksimalno istovremenoj potrošnji kućanstva. Samostalni energetski sistem je uvijek hibridnog karaktera, što znači da sadrži više od jednog tipa generatora električne energije.



Slika 7.5. Blok šema hibridnog energetskog sistema⁶

Dijelovi hibridnog sistema fotonaponske i vjetrogeneratora:

1. fotonaponsko polje sa pripadajućim regulatorima,
2. jedan ili više vjetrogeneratora i njegovih regulatora,
3. baterijski blokovi za akumuliranje proizvedene energije,
4. izlazni DC/AC pretvarači koji omogućavaju korištenje klasičnih električnih potrošača.

Hibridni sistem najpovoljniji za naše podneblje je sistem koji kombinira energiju Sunca i vjetra, tj. kombinacija fotonaponskih modula i vjetrogeneratora. Osim navedenih obnovljivih izvora energije, hibridni sistem može imati i dizel ili plinski agregat za dobijanje električne energije. Takav dodatak sistemu ne smije biti primarni izvor energije već agregat mora biti u funkciji sigurnosnog napajanja ili kao povremena ispomoć kod loših vremenskih uslova.

Veća raspoloživost se dobija kada se kombiniraju izvori. Izostankom jednog izvora ne gubi se napajanje. Većina energije za sunčanih dana dolazi iz fotonaponskog dijela sistema. U zimskim danima i periodima kada je oblačno, većina energije dolazi iz vjetrogeneratora.

⁶ <http://www.croenergo.eu/mogucnosti-pohrane-energije-396.aspx>

8. MIKRO-HIDRO TURBINE

8.1. MALE HIDROELEKTRANE

Riječ hidroenergija može se odnositi doslovno na svaki oblik energije koji potiče od vode, ali se u praksi najčešće odnosi samo na energiju koju dobijamo iz riječnih tokova i rječica. Ovo je vjerovatno najstariji energetska izvor kojeg je čovjek koristio. Njegova prva zabilježena upotreba datira od prije 6.000 godina u Grčkoj, gdje se koristila u sistemima za navodnjavanje i vodenicama. Svjetski energetska trend posljednjih godina je sve veći iskorak ka obnovljivim izvorima energije u koje spadaju i male hidroelektrane. Male hidroelektrane su energetska postrojenja u kojima se potencijalna energija vode prvo pretvara u kinetičku energiju njenog vodenog toka (u statoru turbine), a zatim u mehaničku energiju (u rotoru turbine) vrtnjom vratila turbine i, konačno, u električnu energiju u generatoru. Za male hidroelektrane se smatra da nemaju nikakav štetan utjecaj na okoliš, za razliku od velikih čija se štetnost opisuje kroz velike promjene ekosistema (gradnja velikih brana), utjecaji na tlo, poplavljanje, utjecaji na slatkovodni živi svijet, povećana emisija metana i postojanje štetnih emisija u čitavom životnom ciklusu hidroelektrane. Velike količine vode u cjevovodima pitke vode same se nameću kao potencijalni izvor energije. S obzirom da je protok kroz cjevovod postoji kod izvora vode, posebno na dijelu cjevovoda oko izvorišta i crpilišta, gdje se tok vode kroz cijevi uglavnom postiže samom gravitacijskom silom, postavljanje turbine i pripadnih električnih generatora su zahvati koji ne ugrožavaju dobavu pitke vode, a istovremeno proizvode električnu energiju. Danas se za tehnologiju vezanu za hidroenergiju, koja se smatra obnovljivim izvorom energije, može reći da je tehnički najpoznatija i najrazvijenija na svjetskom nivou, sa veoma visokim stepenom efikasnosti. 22% svjetske proizvodnje električne energije dolazi iz malih i velikih hidroelektrana.

Razlika između hidroelektrana i malih hidroelektrana je u instaliranoj snazi. Prema postojećim propisima u Bosni i Hercegovini, mala hidroelektrana, određena je kao postrojenje za iskorištavanje energije vodotokova s izlaznom električnom snagom od 10 kW do 10 MW. Male hidroelektrane se dalje dijele u male, mini i mikro hidroelektrane.

Neke od prednosti malih hidroelektrana su sljedeće:

- gotovo da nemaju nedostataka,
- nema troška distribucije električne energije,
- nema negativnog utjecaja na ekosustav kao kod velikih hidroelektrana,
- jeftino održavanje

8.2. MIKRO HIDRO TURBINA

Imajući u vidu negativne utjecaje velikih i malih brana, posljednjih godina je inovirano mnogo projekata u vezi sa proizvodnjom hidroenergije povoljne za okoliš. Jedna od njih je korištenje tekuće voda za proizvodnju energiju. Na primjer, mikro hidro turbine se ugrađuju na vodovodnim cijevima i koriste pritisak koji voda stvara unutar cijevi pri njenom doticanju u domaćinstva za proizvodnju energije.

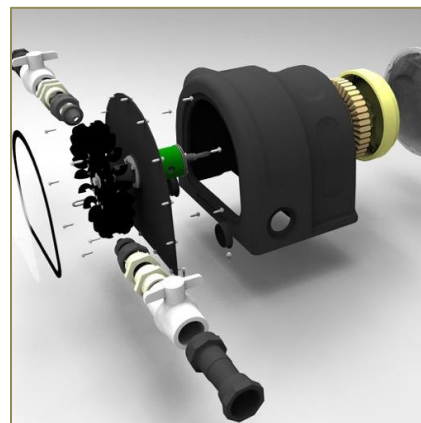
Na slici 8.1 prikazana je jedna verzija takve mikro hidro turbine koja nalazi sve širu primjenu. Jednostavnost konstrukcije, podesna za samoizgradnju i energetska dobiti koje ona daje su najveća

prednost. Zavisno od protoka vode i snage istosmjernog motora, na rotoru turbine, mogu se dobiti zavidne izlazne snage. Izlazni istosmjerni napon vrijednosti 48 V može se koristiti za punjenje baterija ili akumulatora ili preko invertora transformisati u izmjenični talasni oblik 220 V, 50 Hz. Broj mlaznica (na slici 4 mlaznice) može konstruktivno biti promjenjiv, ali jednostavnost konstrukcije i njena prosta ugradnja na postojeće cjevovode pitke vode su veoma prihvatljivi. Veliki broj varijanti ovakve turbine je dostupan na tržištu.

Na slici 8.2. je varijanta iste hidro turbine sa dvije mlaznice također dostupna na online tržištu.



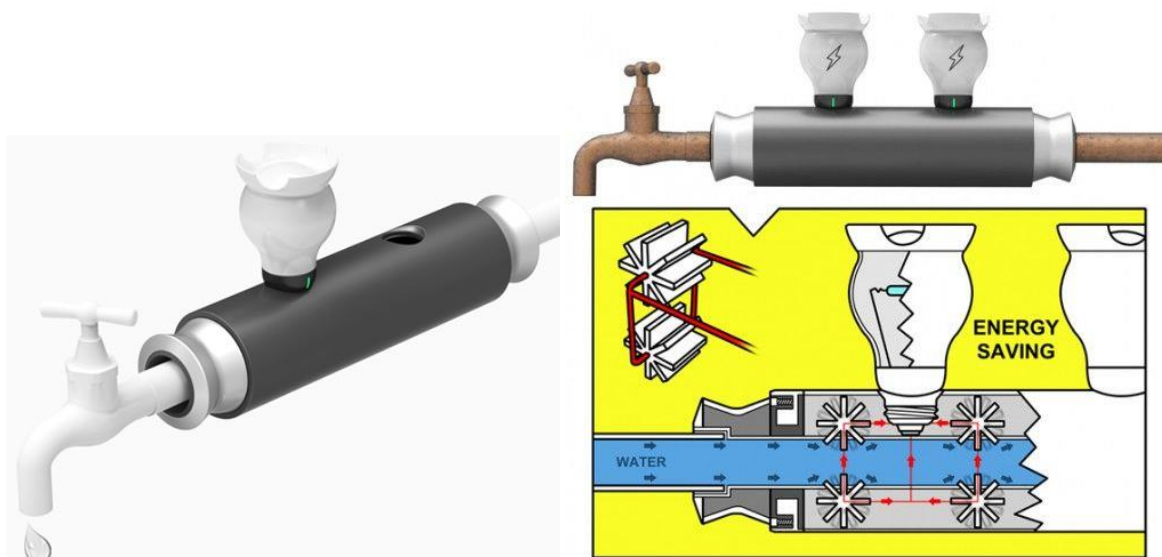
Slika 8.1. Mikro hidro turbina 800W, 48 V, 4 mlaznice



Slika 8.2. Mikro hidro turbina, 500 W, 2 mlaznice

8.3. MINI HIDRO TURBINA

Inovacije na bazi piezoelektričnog efekta su česta u oblasti proizvodnje energije. Tako ES cjevno vodenično kolo (ES Pipe Waterwheel) sa nizom mini hidro turbina proizvodi energiju svaki put kada otvorimo slavinu u domaćinstvu.



Slika 8.4. ES cjevno vodenično kolo na cjevovodu

Slika 8.5. Princip rada ES cjevno vodeničnog kola

ES Pipe Waterwheel je inovativni jednostavan sistem dizajniran za ugradnju u liniju sa postojećim cijevima i koristi protok vode za okretanje niza mini turbina za proizvodnju energije. Sistem je

dizajniran od korejskog inovatora Ryana Jongwoo Choia, ES cijevno vodenično kolo, svaki put kad se otvori slavina, stvara energiju koja se može pohraniti za buduću upotrebu ili odmah implementirati. Također je jednostavan za upotrebu i instalaciju. ES cijevno vodenično kolo može se, npr. postaviti na bilo kom mjestu duž cijevi za protok vode. Sistem vodenog kotača tada generira energiju svaki put kad netko otvori slavinu za piće vode ili tuš.



Slika 8. 6. Protočna mikro hidro elektrana

Mikro hidroelektrični sistemi, koji se prvenstveno koriste u domaćinstvima, malim preduzećima, farmama itd, mogu generirati do 100 kW električne energije. Sadrže turbinu, pumpu ili vodenična kola za pretvaranje energije tekuće vode u rotacionu energiju koja se zatim transformira u električnu. Takvi mikro hidroelektrični sistemi odigrali su značajnu ulogu u zemljama u razvoju u svijetu u proteklih deset godina. Njihova implementacija dovela je do privrednog razvoja dalekih ruralnih područja, posebno na planinskim terenima, gdje je tradicionalnu električnu energiju teško osigurati tradicionalnim metodama.

Mikro hidroelektrična energija, pouzdana je energetska tehnologija sa ovim prednostima:

1. Za razliku od solarne i vjetro energije, može se generirati tokom dana i godine podešavanjem protoka vode.
2. To je autohtoni resurs koji se lako može integritati s projektima navodnjavanja i opskrbe vodom bilo gdje.
3. Ima smanjene operativne troškove i troškove održavanja zbog svojih jednostavnih dizajna.
4. Zbog spomenutih jedinstvenih prednosti, mikro hidroelektrični sistemi tokom godina bilježe stalan ekonomski doprinos.
5. Rastuća populacija širom svijeta i ekonomije u razvoju, također, su dovele do rasta tržišta za ovakve sisteme.

9. LITERATURA, KORISNI LINKOVI I TEME ZA SEMINARSKE, MATURSKE I DIPLOMSKE RADOVE

1. H. J. Geist, Fotonaponska postrojenja, Agencija Echo, Srbija 2015
2. F. Lemić, Solarna ćelija, Fakultet za elektrotehniku i računarstvo, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb 2020.
3. A. Žiher, Analiza utjecaja fotonaponskih sustava na opterećenje elektroenergetskog sustava, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb 2014
4. Dž. Agić, S. Agić, Solarni kolektori, fotonaponski sistemi Planiranje, konstruisanje, instaliranje i održavanje, Centar za ekologiju i energiju, Tuzla 2015
5. Dž. Agić, Poboľšajmo kvalitet zraka efikasnim korištenjem energije, Centar za ekologiju i energiju Tuzla, 2005.
6. S. Agić, Uradi sam solarni kolektor, Centar za ekologiju i energiju Tuzla, 2006.
7. S. Agić, George Stiff, Uvod u obnovljive energije, Centar za ekologiju i energiju Tuzla, 2009.
8. A. Štufelj, Vjetroelektrane, Filozofski falultet u Rijeci, Sveučilište u Rijeci, Rijeka 2015.
9. P. Perošić, Rad vjetroturbina sa vertikalnom osovinom, Sveučilište sjever, Sveučilišni centar Varaždin, Varaždin 2016.
- 10.M. Boxwell, Solar Electricity Handbook – 2011 Edition: A Simple Practical Guide to Solar Energy – Designing and Installing Photovoltaic Solar Electric Systems, Greenstream Publishing, UK, 2011.
- 11.Analiza prostornih mogućnosti za korištenje energije vjetra u Primorsko-goranskoj županiji, 2009.
- 12.Z. Šimić, Korištenje energije vjetra za proizvodnju električne energije, 2010.
- 13.L. Jerkić, Nove tehnologije, 2014.
- 14.L. Jerkić, Moderni vjetroagregati i pretvorba energije, 2015.
- 15.A.Kovačević, Primjena malih autonomnih energetske sustava obnovljivih izvora energije, 2010.
- 16.B. Godfrey, Renewable Energy – Power for a Sustainable Future, Oxford University Press, Oxford, UK, 2004.
- 17.Kemp, H.William, The Renewable Energy Handbook, Revised Edition: The Updated Comprehensive Guide to Renewable Energy and Independent Living, 2009.
18. Laughlin, B. Robert – Nobel Laureate in Physics, Powering the Future: How We Will (Eventually) Solve the Energy Crisis and Fuel the Civilization of Tomorrow, Basic Books, , 2011.
- 19.M. Milanković, D. Perić, I. Naumovska-Vlajić, Osnovi elektroenergetike, Visoka škola elektrotehnike i računarstva strukovnih studija, Beograd, 2013.
- 20.Nelson, Vaughn, Wind Energy, Renewable Energy and the Environment, Taylor & Francis Group, LLC, 2009.

Obnovljivi izvori energije - korisni linkovi

- www.ekologija.ba
- www.obnovljiviizvorienergije.com
- www.izvorienergije.com
- www.obnovljivi.com
- www.obnovljiviizvorienergije.rs
- <http://teho-dom.hr>
- www.dalmacijanews.com
- static.astronomija.co.rs
- www.ee.undp.hr
- www.croenergo.eu
- www.strujaizprirode.com
- www.chemgeneration.com
- www.cnti.info
- www.chee-ipa.org
- www.besplatnaelektricnaenergija.com
- www.automatika.rs
- www.solarno.hr
- <https://zir.nsk.hr/>
- <https://www.schrack.hr>
- www.solarni paneli.org
- <http://ipaq.petagimnazija.hr>
- www.elektronika.ba
- <http://phy.grf.unizg.hr>
- www.gradimo.hr
- www.zavod.pgz.hr
- <http://oie.mingo.hr>
- www.vjetroelektrane.com
- www.croenergo.eu
- www.eoling.net

Teme za seminarske, maturske i diplomske radove

- Obnovljivi izvori energije
- Korištenje Sunčeve energije
- Solarni sistemi za dobijanje tople vode
- Nisko toplotni kolektori, osobine, primjena
- Solarne ćelije, moduli, paneli
- Off-grid solarni sistemi
- Dimenzioniranje off-grid solarnog sistema
- On-grid solarni sistemi
- Vjetroturbine, vjetroelektrane
- Mini hidro turbine

Ovaj Priručnik je nastao kao aktivnost projekta: **“Inovacije u EE i OIE za bolje prilagođavanje klimatskim promjenama i smanjenje siromaštva” (EE – FAZA II)** koji realizira Caritas Švicarske, u partnerstvu sa Centrom za ekologiju i energiju, podpomognuti od strane Federalnog ministarstva prostornog uređenja. Projekat se realizira na području Federacije BiH.

Cilj projekta je da se podizanjem nivoa znanja o energetskej efikasnosti (EE) i obnovljivim izvorima energije (OIE) kroz predavanja, radionice i prezentacije u školama, poveća upotreba OIE i tehnologija EE i da se doprinese smanjenju emisija stakleničkih plinova i boljem prilagođavanju klimatskim promjenama.

Edukacija o ovim temama je prvenstveno u školama gdje će nova znanja, koja će mentorstvom edukatora iz Caritasa i Centra za ekologiju i energiju, biti prenošena profesorima pa zatim učenicima koji će dalje širiti svoje stečeno znanje.

Osim škola, edukacija je i za sve zainteresirane predstavnike javnih institucija, kao i predstavnike nevladinog sektora na području Federacije BiH.

Predavanja i radionice su obogaćeni demonstracijom prikaza rada na modelima solarnih sistema, modelima toplotnih pumpi i putem posebno rađenih brošura i materijala za obuku, kao i studijskim posjetama objektima koji primjenjuju OIE i imaju implementirane mjere EE.

