

# Solarni punjač

---

**Đurinac, Marina**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2023**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:247856>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-10**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I  
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**

**Sveučilišni studij**

**SOLARNI PUNJAČ**

**Završni rad**

**Marina Đurinac**

**Osijek, 2023.**

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA **OSIJEK****Obrazac Z1P - Obrazac za ocjenu završnog rada na preddiplomskom sveučilišnom studiju**

Osijek, 07.09.2023.

Odboru za završne i diplomske ispite

**Prijedlog ocjene završnog rada na preddiplomskom sveučilišnom studiju**

<b>Ime i prezime Pristupnika:</b>	Marina Đurinac
<b>Studij, smjer:</b>	Sveučilišni prijediplomski studij Elektrotehnika i informacijska
<b>Mat. br. Pristupnika, godina upisa:</b>	4667, 22.07.2019.
<b>OIB Pristupnika:</b>	38885106535
<b>Mentor:</b>	prof. dr. sc. Davor Vinko
<b>Sumentor:</b>	,
<b>Sumentor iz tvrtke:</b>	
<b>Naslov završnog rada:</b>	Solarni punjač
<b>Znanstvena grana rada:</b>	<b>Elektronika (zn. polje elektrotehnika)</b>
<b>Zadatak završnog rad:</b>	Zadatak završnog rada je projektirati i izraditi solarni punjač koji služi za punjenje baterijski napajanih uređaja. Punjač ima vlastitu bateriju, odnosno koristi se kao &quot;powerbank&quot; koji se napaja sunčevom energijom. Izrađeni uređaj vrednovati kroz laboratorijska mjerenja. Tema rezervirana za: Marina Đurinac
<b>Prijedlog ocjene završnog rada:</b>	Vrlo dobar (4)
<b>Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:</b>	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 2 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 2 bod/boda Razina samostalnosti: 3 razina
<b>Datum prijedloga ocjene od strane mentora:</b>	07.09.2023.
<b>Datum potvrde ocjene od strane Odbora:</b>	24.09.2023.
Potvrda mentora o predaji konačne verzije rada:	<i>Mentor elektronički potpisao predaju konačne verzije.</i>
	Datum:

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA**

Osijek, 26.09.2023.

**Ime i prezime studenta:**

Marina Đurinac

**Studij:**

Sveučilišni prijediplomski studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija

**Mat. br. studenta, godina upisa:**

4667, 22.07.2019.

**Turnitin podudaranje [%]:**

5

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Solarni punjač**

izrađen pod vodstvom mentora prof. dr. sc. Davor Vinko

i sumentora ,

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija.

Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

# Sadržaj

<b>1. UVOD .....</b>	<b>1</b>
1.1. Zadatak završnog rada .....	1
<b>2. PRINCIP RADA SOLARNOG PUNJAČA .....</b>	<b>2</b>
2.1. Shematski prikaz solarnog punjača .....	2
2.2. Solarna ploča .....	2
2.3. Punjiva baterija.....	5
2.4. Dodatni dijelovi solarnog punjača.....	8
<b>3. MJERENJE SOLARNOG PUNJAČA.....</b>	<b>10</b>
3.1. Izrada uređaja.....	10
3.2. Mjerenja.....	11
3.3. Obrada rezultata .....	15
<b>4. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>18</b>
<b>LITERATURA .....</b>	<b>19</b>
<b>SAŽETAK.....</b>	<b>21</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>21</b>
<b>PRILOZI.....</b>	<b>22</b>

# 1. UVOD

U današnjem svijetu kada smo najviše povezni tehnologijom, održavanje napajanja uređaja je postalo vrlo važno kao i njihova mobilnost. Međutim, ograničenost napajanja električnih uređaja tijekom putovanja ili boravka na otvorenom prostoru kada smo udaljeni od izvora električne energije je postala problem s kojim se sve češće suočavamo. Rješenje za taj problem se može pronaći u prijenosnim punjačima, a u kombinaciji sa solarnom tehnologijom postiže se ekološki prihvatljivo napajanje uređaja temeljeno na sunčevoj energiji.

Cilj ovog završnog rada je prikazati i testirati solarni punjač kao rješenje za prijenosno napajanje elektroničkih uređaja. Kroz analizu načina proizvodnje električne energije kroz solarnu ploču do njenog pohranjivanja mogu se prikazati prednosti i nedostaci koje donosi solarni punjač.

U prvom dijelu rada naglasak će biti na dijelovima solarnih panela, principu rada kako od sunčeve energije proizvedu električnu energiju te vrsti materijala od kojih se izrađuju solarni paneli.

Nadalje, bit će opisan i neizostavni dio solarnog punjača, baterija, u kojem se pohranjuje električna energija. Dio pažnje bit će usmjeren na dijelove uređaja koji su potrebni za proces od pretvorbe sunčeve energije u električnu do punjenja mobilnih uređaja.

Drugi dio rada će imati fokus na mjerenja napona i struje elemenata sklopa. Njihove učinkovitosti i matematički izračuni prikazat će solarni punjač u realnim uvjetima.

Ovaj završni rad će dati cjelokupni pregled solarnog punjača i koja mu je svrha u modernom društvu.

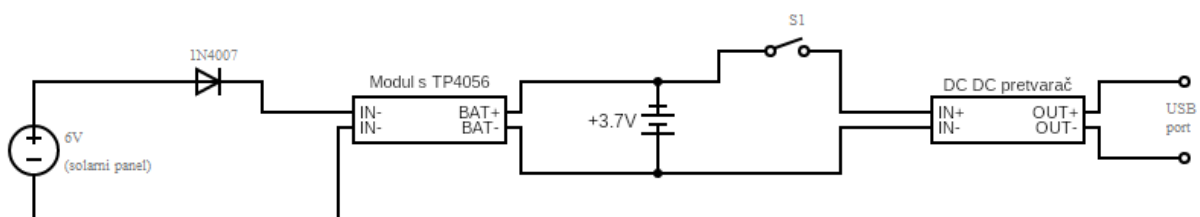
## 1.1. Zadatak završnog rada

Zadatak završnog rada je projektirati i izraditi solarni punjač koji služi za punjenje baterijski napajanih uređaja. Punjač ima vlastitu bateriju, odnosno koristi se kao "powerbank" koji se napaja sunčevom energijom. Izrađeni uređaj vrednovati kroz laboratorijska mjerenja.

## 2. PRINCIP RADA SOLARNOG PUNJAČA

### 2.1. Shematski prikaz solarnog punjača

Glavni dijelovi solarnog punjača su solarna ploča napona 6V u ulozi izvora napajanja i Li-ion baterija kapaciteta 3000mAh u kojoj se skladišti energija dobivena od sunca. Dioda 1N4007 koja je spojena između ploče i modula za punjenje usmjerava struju u jednom smjeru te joj sprječava prolazak unatrag. Modul za punjenje i DC/DC pretvarač reguliraju potrebne napone na određenim dijelovima strujnog kruga. Sklopka između baterije i pretvarača sprječava nepotrebno pražnjenje baterije kada se ne pune elektronički uređaji (Sl.2.1.).



Sl. 2.1. Shematski prikaz solarnog punjača

### 2.2. Solarna ploča

Solarna ili sunčeva energija je energija koja se oslobađa prilikom kemijske reakcije koja spaja četiri atomske jezgre vodika proizvodeći jedan atom helija. Oslobodena energija se emitira u svemir u obliku nekoliko vrsta valova kao što su radiovalovi, ultraljubičasti, infracrveni, rendgenski i vidljivi valovi. Veći dio ukupne energije koja padne na Zemlju mijenja svoj oblik kroz posredne energetske promjene kao što su fotosinteza i isparavanje, a ostatak služi kao direktni izvor energije. Korištenje takvog izvora energije je čišće i prihvatljivije za okoliš od fosilnih goriva, a može opskrbiti jednakom količinom energije. Zahtijeva vrlo malo održavanja u usporedbi s ostalim izvorima energije te ima vrlo široko područje primjene prema [1].

Solarna ploča je uređaj za transformaciju sunčeve energije u električnu. Složena je od fotonaponskih ćelija (FN) koje transformiraju elektromagnetsko (EM) zračenje u električnu energiju, a ako je EM zračenje zapravo zračenje sunca onda se nazivaju solarne ćelije. Pretvaranje EM zračenja u električnu energiju se događa zbog fotonaponskog efekta. Fotonaponski efekt je pojavljivanje mjerljive struje u trenutku kada sunčeva svjetlost padne na pojedine elemente. Fotonaponski efekt je otkriven 1839. kada je francuski fizičar Becquerel generirao električnu

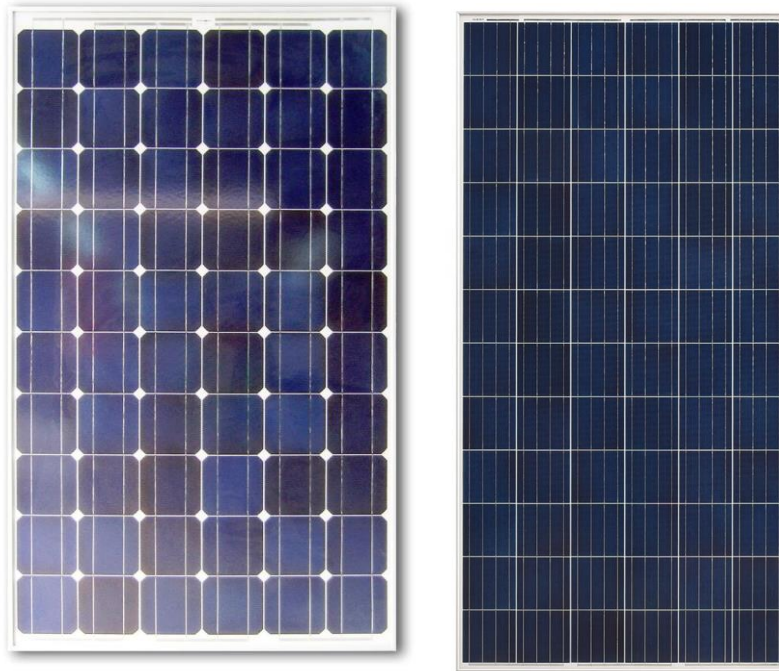
struju između dvije ploče od platinuma prekrivene srebrovim kloridom koje je umočio u kiselinu te ih izložio sunčevoj svjetlosti prema [2, str.913.].

Solarna ćelija se sastoji od nekoliko slojeva. Za fotonaponski efekt su potrebna dva poluvodička sloja koji su u većini slučajeva napravljeni od kristalnog silicija. Iako silicij nije dobar vodič, dodavanjem drugih elemenata, drugim terminom dopiranjem, mu se može povećati vodljivost. U pravilu se u donji sloj dodaje trovalentni bor te se time dobije višak protona i P sloj dok se u gornji sloj dodaje peterovalentni fosfor čime se dobije višak elektrona i N sloj. N-tip i p-tip poluvodiči između sebe stvaraju pn-spoj zbog kojeg se elektroni mogu kretati samo u jednom smjeru iz p-sloja u n-sloj. Oslobođanje elektrona započinje u trenutku kada sunčeva svjetlost padne na ćeliju. Elektroni iz n-sloja pokušavaju prijeći u p-sloj, ali pn-spoj između njih ne dopušta taj prijelaz. Spajanjem slojeva vanjskim krugom dolazi do protoka elektrona od n-sloja prema p-sloju te se time generira istosmjerna struja. Budući da između slojeva postoji električno polje, na ćeliji postoji i napon prema [2, str. 914.].

Jedna ćelija daje vrlo malo snage, stoga se ćelije grupiraju u panele. Paneli se također mogu grupirati te na taj način stvarati fotonaponske sustave. Dijelovi fotonaponskog sustava su: pretvarač, baterija za pohranu električne energije, regulator punjenja baterije i dovoda energije potrošačima, zaštitni uređaj, nosač modula i potrebne električne instalacije. Fotonaponski sustavi se dijele na samostalne i mrežne. Samostalni sustavi se još nazivaju i otočni, a energiju koju proizvedu čuvaju u bateriji ili akumulatoru. Mrežni sustavi predaju električnu energiju u elektroenergetski sustav prema [2, str.914.].

Uzimajući u obzir veličinu kristalnog silicija koji se koristi kao materijal za izradu solarne ćelije, dobiju se dvije kategorije kristalnog silicija. Polikristalni silicij je najpopularniji i najjeftiniji za izradu solarne ćelije zbog proizvodnog postupka za koji je potreban rastaljeni silicij dok je monokristalni silicij skuplji, ali ima veću izlaznu snagu. Solarne ploče koje koriste monokristalni silicij je vrlo lako prepoznati po uzorku bijelih dijamanta prema [3]. Razlika između te dvije kategorije se može vidjeti na slici 2.2..





Sl. 2.2. Solarni panel s monokristalnim silicijem (lijevo) i polikristalnim silicijem (desno)

Osim kristalnog silicija, postoje alternativni materijali od kojih se izrađuje solarna ploča. Solarne ploče sastavljene od tankoslojnih solarnih ćelija su fleksibilnije, trajnije i jeftinije, ali su manje učinkovite. Materijali koji se koriste za izradu tankoslojne solarne ćelije su amorfni silicij, kadmij telurid i bakar indij galij selenid prema [3].

Kao i svaka tehnologija, solarni paneli se također susreću s izazovima. Troškovi instalacije panela su vrlo visoki, a ako je niža gustoća sunčeve energije, potreban je veći prostor za postavljanje ploča. Proizvođači električne energije su postavili solarne elektrane u pustinjskim i polupustinjskim klimama, a time se mijenja izvorni ekosustav. Da bi se spriječio rast biljaka ispod ploča koje bi prekrile direktan izvor svjetlosti, u tlo se stavljaju kemijski proizvodi koji mijenjaju ravnotežu okoliša. Osim promjene okoliša radi postavljanja ploča, upitno je i njihovo recikliranje koje još uvijek nije definirano te postoji mogućnost da će se paneli morati odbaciti prema [4].

U posljednjih nekoliko godina razvila su se značajna poboljšanja u solarnoj tehnologiji. Učinkovitost panela se poboljšala s 14% na 22% u usporedbi s počecima izvedbe te mogu transformirati više sunčeve energije u električnu. Sve prednosti koje dolaze sa solarnom tehnologijom su privukle mnoge proizvođače kao i kućanstva te se sve više oslanjaju na sunčevu energiju za dobivanje električne kako bi se smanjili financijski troškovi i što manje zagadio okoliš. Postavljanje solarnih panela na krovove jedan je od načina postavljanja panela koji je postao popularan za dobivanje električne energije kroz cijelu godinu prema [5].

Razvoj solarne tehnologije je vrlo aktualan. Jedno od poboljšanja solarnih panela koje je još uvijek u fazi izrade je korištenje nanomaterijala kako bi se povećala učinkovitost. Pored toga, za povećanje površine na kojoj bi se postavljali paneli razvijaju se transparentni paneli koji će se moći ugraditi umjesto prozora na zgradama te tako osigurati zgradama veću količinu energije. Budući da se sva količina električne energije dobivene od sunca mora negdje i sačuvati kako bi se mogla koristiti po potrebi, radi se na unapređivanju baterija koje će skladištiti električnu energiju prema [5].

### **2.3. Punjiva baterija**

Baterija je uređaj koji pretvara kemijsku reakciju u električnu energiju. Glavni dijelovi jedinice se sastoje od negativne i pozitivne elektrode i elektrolita koji provodi elektrone. Elektrolit može biti u tekućem ili čvrstom stanju. Kada se baterija spoji s vanjskim naponom ili uređajem, odvijaju se kemijske reakcije pod nazivima oksidacija i redukcija. Negativna elektroda ili anoda u reakciji s elektrolitom proizvodi elektrone. Ako se osigura prijenos elektrona s anode na pozitivnu elektrodu ili katodu, drugim riječima oksidiranjem anode i redukcijom katode, oslobodi se električna energija koja će pokrenuti sami uređaj prema [6].

Glavna podjela baterija je na primarne i sekundarne. Primarne baterije su jednokratne i kada anoda oksidira u potpunosti, ne može se napraviti obrnuta reakcija kako bi se ponovno koristila. U slučaju da se pokuša napuniti, baterija će eksplodirati ili će se izliti elektrolit. Najčešće primarne baterije koje se koriste su cink karbonske i alkalne. Cink karbonske baterije se mogu prepoznati po oznakama AA, AAA, C i D. Cink je anoda, magnezijev dioksid katoda, a elektrolit je amonijev ili cinkov dioksid prema [7]. Alkalne baterije su slične kao cink karbonske, ali prednost im je što im kapacitet iznosi od 1800 do 2600mAh za razliku od cink karbonskih kojima iznosi od 400 do 1700mAh. Uz to alkalne baterije imaju vijek trajanja do 7 godina nasuprot cink karbonskih s 1 do 2 godine.

Sekundarne baterije su baterije koje se mogu prazniti i puniti konačan broj puta. Rade na isti princip kao i primarne, a razlika im je u kemijskom sastavu. Kemijska reakcija koja se događa u samoj bateriji je povratna kada se spoji na vanjski izvor energije. Negativno nabijeni ioni koji se prenesu na katodu se mogu vratiti na anodu te se baterija može ponovno koristiti. Prve sekundarne baterije su bile nikal kadmijeve (NiCd), ali su imale nedostatak što se pojavljivao efekt pamćenja. Ako se baterija ne bi potpuno ispraznila i napunila do kraja, kapacitet same baterije bi se smanjio prema [7]. Nakon nikal kadmijevih baterija, razvile su se nikal-metal-hidridne baterije (NiMH). NiMH baterije su hidridne baterije nastale spajanjem vodikovih iona i metalnog nikla. Njihova

prednost je što nemaju efekt pamćenja, lakše su od NiCd baterija te su ekološki prihvatljive. Razlog zašto proizvođačima nisu uvijek prvi izbor je taj što je cijena veća, a performanse nisu optimalne. Bolji učinak od NiMH i NiCd imaju litij-ionske (Li-ion) baterije prema [8]. Usporedba Li-ion baterija sa svojim prethodnicima je prikazana u tablici 2.1.. Li-ion baterije imaju duži ciklus punjenja, kratko vrijeme punjenja te trostruko veći nominalni napon. Gustoća energije je vidljivo veća od prethodnih, a energetska učinkovitost je slična.

	<b>NiCd</b>	<b>NiMH</b>	<b>Li-ion</b>
<i>gustoća energije (Wh/kg)</i>	40 - 60	30 - 80	100 - 250
<i>energetska učinkovitost (%)</i>	60 - 90	70	75 - 90
<i>ciklusi punjenja</i>	500 - 2000	500 - 1000	500 - 2000
<i>samopražnjenje (%/mjesec)</i>	10 - 15	30	5 - 10
<i>vrijeme punjenja (h)</i>	1-2	2-4	1-2
<i>nominalni napon(V)</i>	1,2	1,2	3,7

Tab 2.1. Karakteristike sekundarnih baterija

Negativna strana Li-ion baterije je ta što joj mijenja napon prema napunjenosti. Stabiliziranje takvog efekta se dobije dodavanjem dodatnog sklopa koji će prekinuti strujni krug ako je napon previsok ili prenizak. PCM (eng. Protection Circuit Management) je sklop koji regulira napon baterije, a time i struju ako bi došlo do kratkog spoja kada je struja maksimalna radi očuvanja uređaja prema [9].

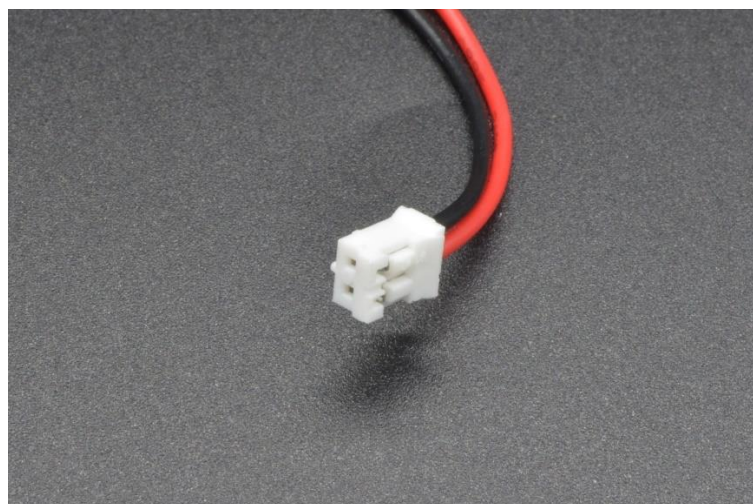
Punjenje Li-ion baterija se može prikazati u tri faze: predpunjenje, konstantna struja i konstantni napon. Predpunjenje se događa samo ako je napon baterije padne ispod 3V. Ako je napon 3V i više, onda nema potrebe za ovim korakom. U drugoj fazi se baterija puni konstantnom strujom gdje napon mora biti između 3V i 4.2V. Preporuča se puniti bateriju s 0.5C gdje je C kapacitet baterije te iznos struje određuje brzinu punjenja. Baterija se može puniti i s većim iznosima struje od preporučene što se naziva brzo punjenje (eng. quick charge), ali takvim punjenjem dolazi do smanjenja kapaciteta baterije. Brzo punjenje će skratiti fazu punjenja baterije konstantnom strujom, ali produžuje treću fazu. Zadnja faza punjenja je obično najduža i događa se kada baterija dođe do napona 4.2V. Baterija se nadopunjava do svog kapaciteta, a punjenje prestaje kada struja punjenja dođe do određenog iznosa koji može biti podesiv prema [9].

Karakteristika baterije je kapacitet koji se izražava u amper satima (Ah). Izražava koliki iznos struje može dati u vremenu od jednog sata prema [7]. S vremenom se tijekom pražnjenja i ponovnog punjenja kapacitet baterije smanjuje. Na smanjivanje kapaciteta može utjecati i temperatura. Pri višim temperaturama elektroliti ulaze u aktivnu masu jer im se viskoznost

manjuje. Aktivna masa baterije su elementi koji sudjeluju u kemijskim procesima, a nalaze se u anodi i katodi. Preniske temperature mogu smanjiti kapacitet baterije na isti način kao i visoke prema [10].

Razvoj novih tehnologija za izradu baterija će promijeniti način na koji se skladišti energija. Iako trenutno imaju jako široku primjenu kao što su u mobilnim uređajima i automobilima, postoje ograničenja kojima se proizvođači moraju prilagoditi. Inovacije poput Li-ion baterije bez kobalta su trajnije i učinkovitije. Kineska tvrtka SVOLT razvija baterije bez kobalta za tržište električnih vozila. Imaju veću energetske gustoće što omogućava električnim automobilima dosezanje dometa od do 800 km dok istodobno produljuju vijek trajanja baterije i povećavaju sigurnost. Razvijaju se i litij-sumporne baterije koje po posljednjim testiranjima nadmašuju Li-ion baterije po trajnosti i ekološkom utjecaju. Također se razvijaju i baterije s puno jeftinijim materijalima kao što je morska voda prema [11].

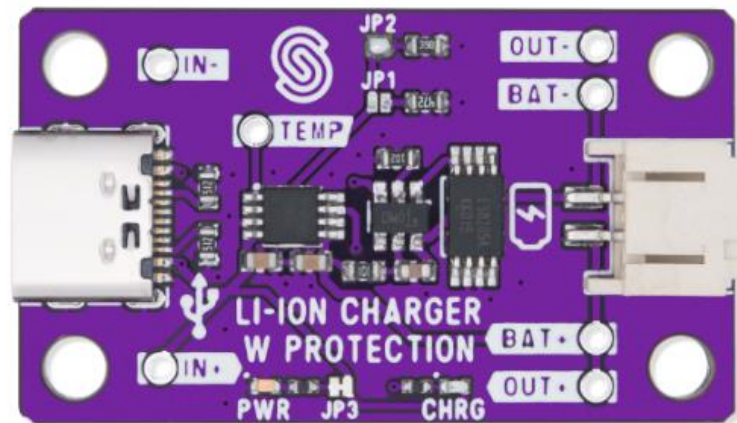
Za potrebe istraživanja, primijenjena je Li-ion baterija 605080 od 3000 mAh kao ključni element za napajanje elektroničkih uređaja. Baterija je opremljena standardnim JST ženskim konektorom prikazanim na slici 2.3. koji omogućuje povezivanje s drugim uređajima. Uz to joj nominalni napon iznosi 3,7 V što je standardna vrijednost Li-ion baterija. Jedna od značajki što izdvaja ovu bateriju od drugih je ta što ima ugrađeni sustav za zaštitu od prevelikog napona, preniskog napona i kratkog spoja. Ovaj sustav djeluje kao zaštita za bateriju, ali i kao zaštita za korisnika. Sprječava opasne situacije kao što su preopterećenje, što osigurava dulji trajni vijek same baterije, ali istovremeno i štiti korisnika od potencijalno ozbiljnih rizika. Punjenje baterije se provodi odgovarajućim punjačem principom CC/CV (konstantna struja/konstantni napon). Pravilno punjenje je vrlo važno kako bi se postigla optimalna učinkovitost i iskoristivost kapaciteta baterije.



Sl. 2.3. standardni JST ženski konektor s 2 pina

## 2.4. Dodatni dijelovi solarnog punjača

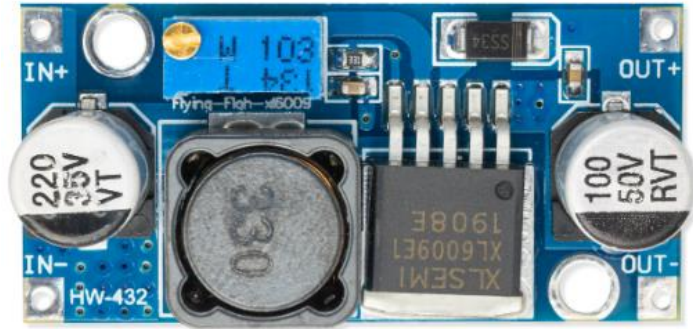
Za punjenje baterije preko solarne ploče potreban je regulator punjenja koji će kontrolirati punjenje baterije. Kako je Li-ion baterija sklona pregrijavanju, postavlja se zaštita kako se ne bi prepunila. Punjenje baterije će osigurati modul s regulatorom TP4056 prikazan na slici 2.4. koji je posebno sastavljen za Li-ion bateriju. Ulazni napon modula je od 4.5V do 6V, stoga napon solarnog panela mora biti u tom rasponu. Shematski prikaz modula je prikazan u prilogu P.2.1..



Sl. 2.4. Prikaz modula za punjenje s TP4056 regulatorom

Najčešće Li-ion baterije koje se koriste su one baterije čiji je nazivni napon 3.7V. Modul za punjenje je prilagođen takvoj vrsti baterije te će osigurati punjenje kroz sve tri faze ukoliko je moguće. Modul ima micro USB ulaz preko kojeg se baterija može puniti tradicionalnim načinom ovisno o želji korisnika.

Glavna namjena solarnog punjača je punjenje elektroničkih uređaja čiji je ulazni napon 5V. Kako bi se povećao napon baterije od 3.7V do 5V, potrebno je postaviti pretvarač napona. DC/DC pretvarač na slici 2.5. pretvara ulazni napon u rasponu od 3V do 32V na izlazni napon koji je podešiv od 5V do 32V te time omogućuje punjenje uređaja. Podešavanje izlaznog napona na pretvaraču se odvija tako da se mjeri izlazni napon dok se vrti potencijometar. Datasheet pretvarača modula je prikazan u prilogu P.2.2..



Sl. 2.5. Prikaz pretvarača napona s XL6009

Za zaštitu od suprotnog smjera struje korištena je dioda 1N4007 (Sl. 2.6.). To je ispravljачka dioda koja može propustiti struje do 1A, a najveća dopuštena vrijednost obrnutog napona je 1kV. Radna temperatura joj je od  $-55^{\circ}\text{C}$  do  $150^{\circ}\text{C}$  zbog čega se uklapa u solarni punjač koji se treba grijati na suncu nekoliko sati. Ima široku primjenu i vrlo je pristupačna.



Sl. 2.6. Dioda 1N4007

U ulozu sklopke koja sprječava nepotrebno pražnjenje baterije dok je u mirovanju je prekidač s 3 pina (Sl. 2.7.). To je SPDT (single-pole, dual-throw) prekidač koji spaja srednji pin s jednim od rubnih pinova ovisno o načinu spajanja.

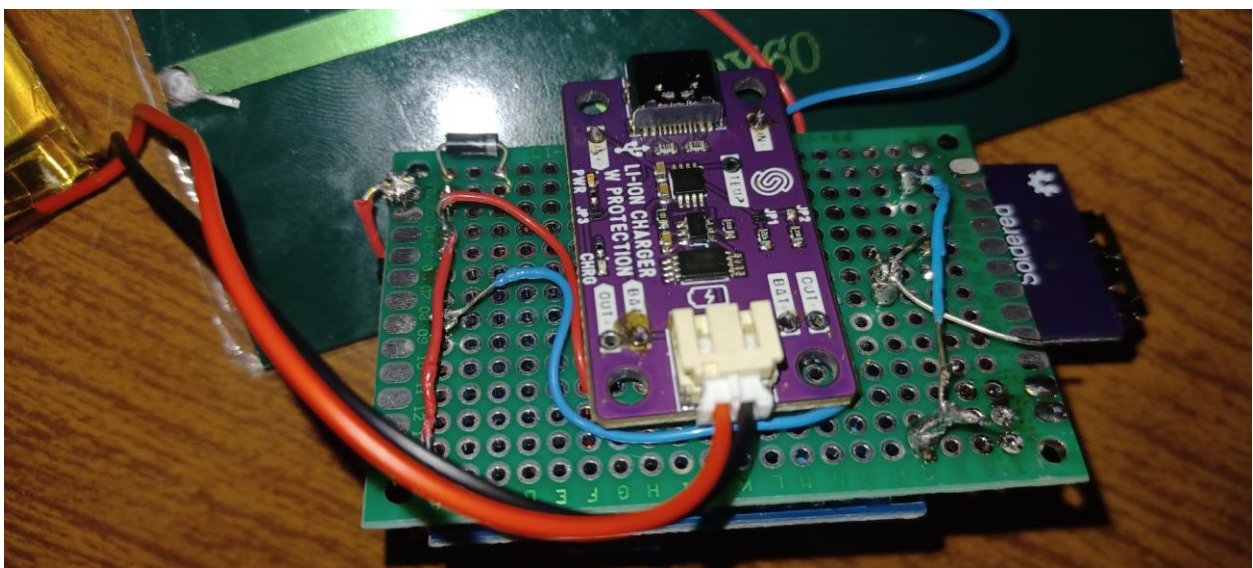


Sl. 2.7. SPDT prekidač

### 3. MJERENJE SOLARNOG PUNJAČA

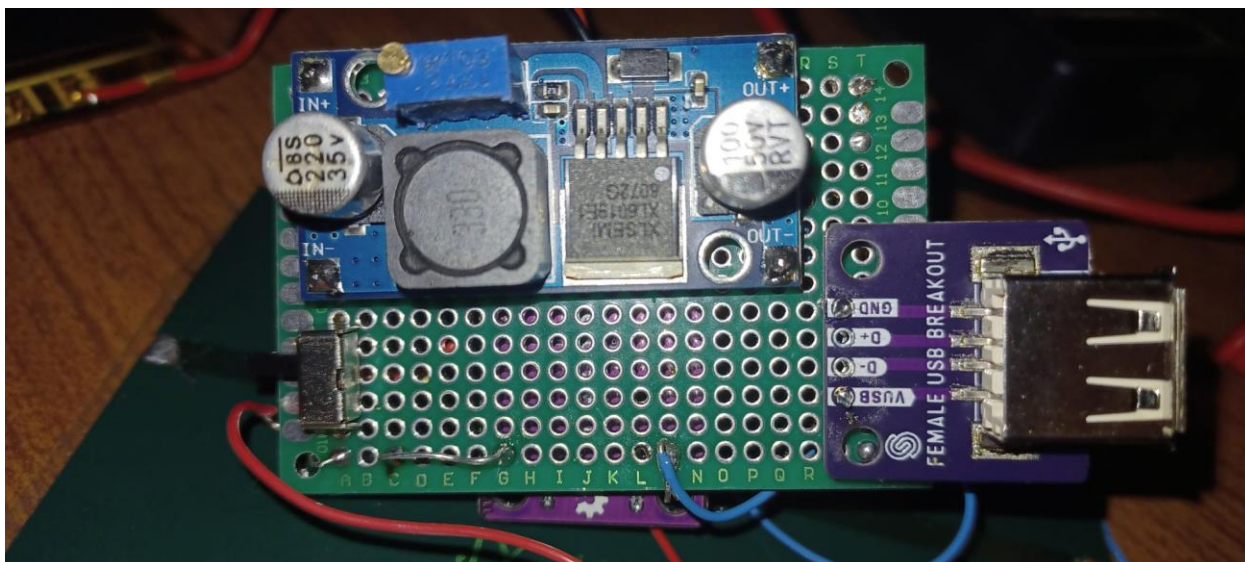
#### 3.1. Izrada uređaja

Na jednoj strani bušene pločice je postavljena ispravljačka dioda koja je povezana s modulom za punjenje prikazano na slici 3.1. Kada se modul i ispravljačka dioda povežu sa solarnim panelom, dobije se strujni krug koji napaja bateriju. Modul za punjenje sadrži konektor za bateriju koja se priključi te izlaganjem solarnog panela na sunce počinje punjenje baterije. To se može potvrditi svjetlom crvene LED diode na modulu. Kada se baterija napuni do kraja, crvena LED dioda se ugasi te počne svijetliti zelena LED dioda.

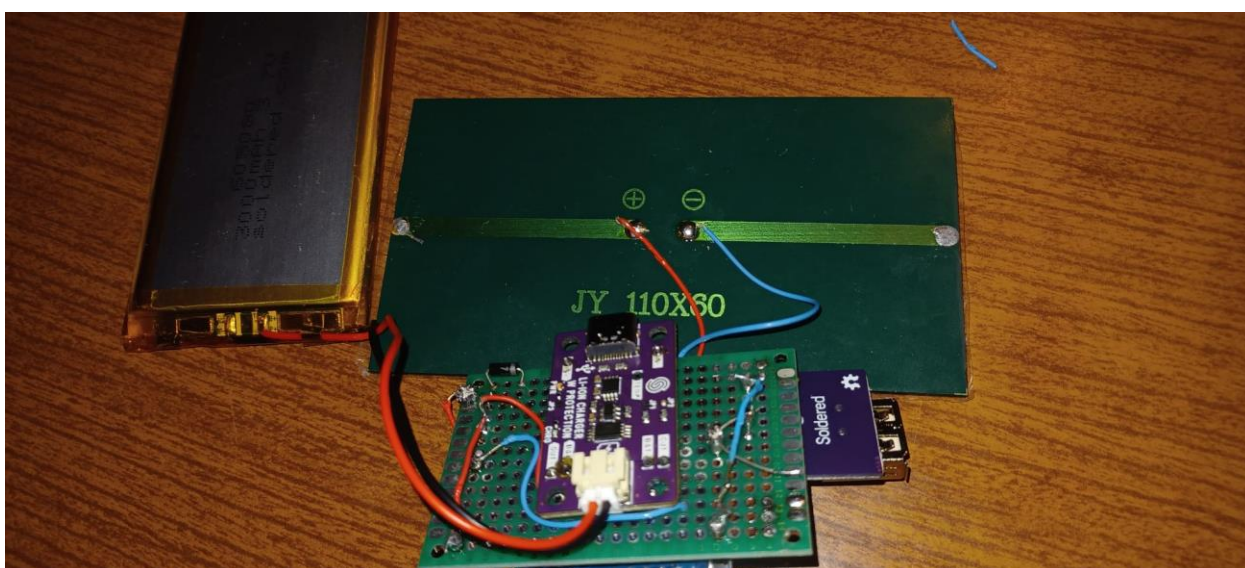


Sl. 3.1. Izgled bušene pločice na strani na kojoj je postavljen modul za punjenje

Budući da je izlaz modula za punjenje jednak točki spajanja pretvarača napona, ugrađen je prekidač s tri pina koji mora prekinuti krug do pretvarača tijekom punjenja kako bi se baterija napunila. Prekidač, kao i pretvarač napona su spojeni na drugoj strani bušene pločice kao što je prikazano na slici 3.2. Uz to je spojen i USB A izlaz za napajanje elektroničkih uređaja. Na slici 3.3. se može vidjeti cijeli sklop koji je spreman za testiranje.



Sl. 3.2. Izgled bušene pločice na strani na kojoj je postavljen pretvarač napona



Sl. 3.3. Prikaz spojenog sklopa

### 3.2. Mjerenja

Testiranjem solarnog punjača se razmatrao iznos napona na solarnom panelu ovisno o osvjetljenju. Mjereni rezultati su prikazani u tablici 3.1..



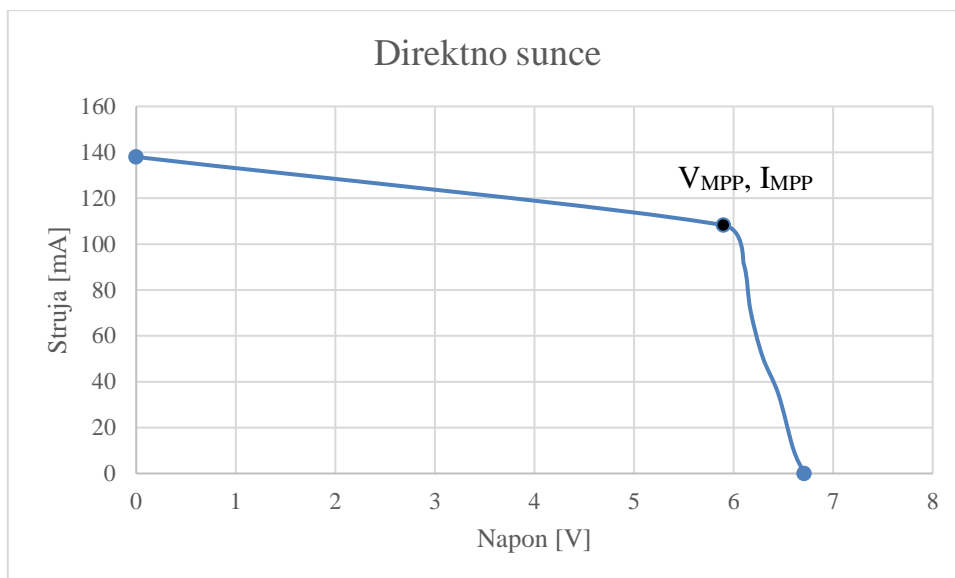
Vrijeme	Temperatura zraka (°C)	Prosječni iznos napona (V) na izlazu solarnog panela
vedro, sunčano; panel je izložen direktnom suncu	38	6.12
poluoblačno; panel nema pristup direktnom suncu	36	4.13
vedro, sunčano; panel nema pristup direktnom suncu	27	5.33
oblačno; panel nema pristup direktnom suncu	25	3.88

Tab 3.1. Mjerenje napona na izlazu solarnog panela

Mjerenjem napona i struje na solarnom panelu u različitim uvjetima dobije se strujno-naponska karakteristika iz koje se može odrediti maksimalna snaga. Izmjerene vrijednosti se mogu vidjeti u tablicama 3.2., 3.3. i 3.4., a karakteristike se nalaze na grafovima 3.1., 3.2. i 3.3..

napon (V)	struja (mA)	snaga (W)
0	138	0
5,9	108,2	0,63838
6,1	91,7	0,55937
6,17	71	0,43807
6,29	51	0,32079
6,45	34,6	0,22317
6,6	10,6	0,06996
6,71	0	0

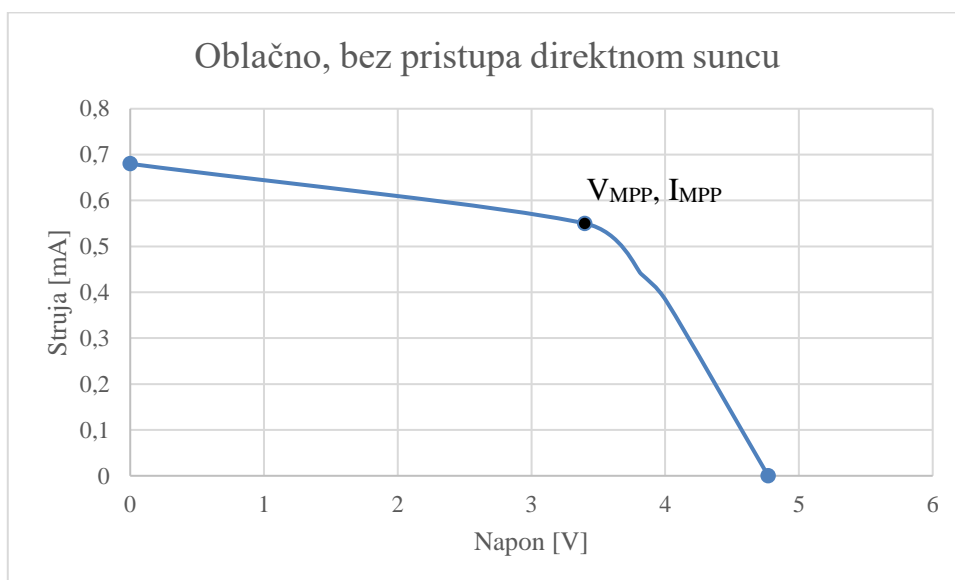
Tab 3.2. Izmjerene vrijednosti napona i struje na direktnom suncu



Graf 3.1. U-I karakteristika solarnog panela na direktnom suncu

napon (V)	struja (mA)	snaga (W)
0	0,68	0
3,4	0,55	0,00187
3,82	0,44	0,0016808
4,01	0,38	0,0015238
4,77	0	0

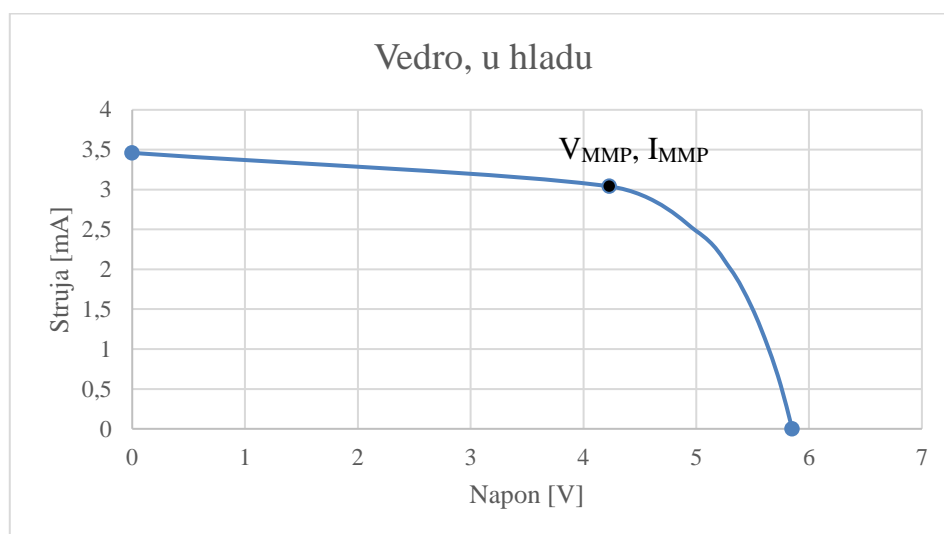
Tab 3.3. Izmjerene vrijednosti napona i struje na oblačnom vremenu



Graf 3.2. U-I karakteristika solarnog panela na oblačnom vremenu

napon (V)	struja (mA)	snaga (W)
0	3,46	0
4,23	3,04	0,0128592
5	2,48	0,0124
5,3	2,01	0,010653
5,49	1,53	0,0083997
5,64	1,01	0,0056964
5,75	0,54	0,003105
5,85	0	0

Tab 3.4. Izmjerene vrijednosti napona i struje na vedrom vremenu bez direktnih zraka sunca



Graf 3.3. U-I karakteristika solarnog panela na vedrom vremenu bez direktnih zraka sunca

Budući da se sklop sastoji od dva modula, izmjerene su učinkovitosti modula za punjenje s TP4056 i pretvarača napona s XL6009. Mjerenjem ulazne i izlazne struje te ulaznog i izlaznog napona računa se ulazna i izlazna snaga. Rezultat dijeljenja izlazne i ulazne snage je učinkovitost. Dobivene vrijednosti se nalaze u tablici 3.5. i 3.6..

ulazna struja	0,117A	ulazna snaga	0,80613W	učinkovitost	77,82%
ulazni napon	6,89V				
izlazna struja	0,153A	izlazna snaga	0,6273W		
izlazni napon	4,1V				

Tab 3.5. Izmjerene vrijednosti modula za punjenje s TP4056

ulazna struja	0,175A	ulazna snaga	0,8148W	učinkovitost	70,17%
ulazni napon	4,2V				
izlazna struja	0,113A	izlazna snaga	0,57178W		
izlazni napon	5,06V				

Tab 3.6. Izmjerene vrijednosti pretvarača napona s XL6009

Učinkovitost gotovog sklopa se dobije mjerenjem ulazne struje i ulaznog napona sa solarnog panela te izlazne struje i izlaznog napona pretvarača napona s XL6009. Krajnji rezultat je efektivnost. Izmjerene vrijednosti se nalaze u tablici 3.7..

ulazna struja	0,138	ulazna snaga	0,92598	učinkovitost	67,21%
ulazni napon	6,71				
izlazna struja	0,123	izlazna snaga	0,62238		
izlazni napon	5,06				

Tab 3.7. Izmjerene vrijednosti gotovog sklopa

### 3.3. Obrada rezultata

Solarni punjač je tijekom testiranja bio izložen suncu u različitim vremenskim uvjetima radi simulacije stvarnih događaja u prirodi. Maksimalni napon se dobio kada je panel bio izložen direktnom suncu 6.12V. Veliki pad napona se dobije kada je sunce zaklonjeno, ali baterija se može nastaviti puniti neometano. Međutim, minimalni izmjereni napon iznosi 3.88V i prisutan je u vremenu kada vrlo malo svjetlosti pada na solarni panel. U tom trenutku se baterija ne puni.

Osim jakosti sunčeve svjetlosti, postoji još nekoliko čimbenika koji utječu na izlazni napon solarnog panela. To može biti i kut pod kojim sunčeve zrake padaju na solarnu ploču. Kada sunčeve zrake padaju vertikalno na panel, izmjeren je napon viši od 6V, a u suprotnom slučaju se može primijetiti mali pad napona.

Strujno-naponska karakteristika je prikaz odnosa između struje i napona. Mjerenje se izvršava tako da se mjere iznosi napona i struje na potenciometru u različitim uvjetima. Vrijednosti kada sunčeve zrake padaju direktno na solarni panel i kada solarni panel nema pristup suncu nisu jednake. Generirani napona od 4,5 V ne provodi jednaku struju u različitim uvjetima. Može se zaključiti da iznos struje koju solarni panel generira neposredno ovisi o kutu pod kojim padaju sunčeve zrake. Kada solarni panel ima pristup direktnim zrakama, dobije se najviši iznos struje i napona. Iz dobivenih vrijednosti se može odrediti snaga solarne ploče prema formuli 3.1.:

$$P = I * U \quad (3.1.)$$

Iz tablica 3.2., 3.3. i 3.4. može se uočiti u kojem trenutku snaga dobiva maksimalan iznos, to jest točku maksimalne snage (MPP). Kada je nebo vedro i kada solarni panel ima pristup direktnom suncu, MPP iznosi 0,64 W. U hladu su mjerenja nešto drugačija te MPP iznosi 0,013W, a najniža vrijednost MPP-a se dobije mjerenjem struje i napona kada je oblačno te iznosi 0,0019W.

Deklarirana snaga solarne ćelije na kojem su se vršila mjerenja iznosi 1W, a dobiveni iznosi koji

su manji od deklarirane snage ovisе o uvjetima mjerenja. Što je intenzitet svjetlosti jači, iznos MPP se približava vrijednosti deklarirane snage.

Modul za punjenje je uz solarni panel najvažniji dio za punjenje baterije. Njegova očekivana učinkovitost je od 80 do 90% kako bi se baterija uspjela napuniti te kako bi se snaga solarnog panela mogla što bolje iskoristiti. Umnoškom izmjerenog ulaznog napona i ulazne struje se dobije ulazna snaga modula, a jednako vrijedi i za izmjereni izlazni napon i izlaznu struju. Učinkovitost modula se dobije koristeći formulu 3.2.:

$$\eta = \frac{P_{izl}}{P_{ul}} * 100\% \quad (3.2.)$$

gdje je  $P_{izl}$  izlazna snaga, a  $P_{ul}$  ulazna snaga. Krajnji rezultat iznosi 77,82%.

Pretvarač napona osigurava izlazni napon od 5V koji je potreban za punjenje elektroničkih uređaja. O njegovoj učinkovitosti ovisi koliko će se energija uskladištena u bateriji iskoristiti za punjenje. Iznos učinkovitosti se računa na isti način kao i učinkovitost modula za punjenje te nakon izmjerenih vrijednosti ulaznog napona i struje te izlaznog napona i struje dobije se učinkovitost od 70,17%.

Mjerenje učinkovitosti gotovog sklopa pokazuje koliko posto je iskorišteno sunčeve energije za napajanje električnih uređaja. Mjerenje se izvršilo na način da se pomnože ulazni napon i ulazna struja dobiveni od solarnog panela te izlazni napon i izlazna struja izmjereni na izlazu pretvarača napona. Rezultat množenja kao i u prethodnom slučaju su ulazna i izlazna snaga te se na isti princip računa efikasnost cjelokupnog uređaja, a iznosi 67,21%.

Koristeći izmjerene podatke vrlo lako se može izračunati koliko je potrebno da bi se baterija od 3000 mAh napunila pomoću sunčeve energije. U prvoj fazi punjenja baterija se priprema za punjenje te taj vremenski period treba biti najkraći. Baterija se puni do 20% kapaciteta, a struja punjenja je smanjena. Ako se pretpostavi da modul za punjenje puni strujom iznosom od 0,04C, vrijeme predpunjenja se računa prema izrazu 3.3.:

$$t_1 = \frac{C}{I} = \frac{C_{bat} * 20\%}{0,02 C_{bat}} = \frac{3000mAh * 20\%}{0,02mA * 3000mAh} = \frac{600mAh}{60mA} = 10h \quad (3.3)$$

U drugoj fazi se baterija puni konstantnom strujom do 80%, a struja punjenja je izlazna struja modula, vrijeme punjenja baterije se računa prema izrazu 3.4.:

$$t_2 = \frac{C}{I} = \frac{C_{bat} * 80\% - C_{bat} * 20\%}{I} = 11,7647h \quad (3.4.)$$

Treća faza punjenja je punjenje konstantnim naponom koji iznosi 4,2V. Budući da struja nije konstantna, pretpostavlja se da punjenje završava sa strujom od 0,1mA dok je početna 153mA. Izračun vremena punjenja se može računati s prethodnom formulom koristeći srednju vrijednost struje prikazano u izrazu 3.5.:

$$t_3 = \frac{C}{I} = \frac{C_{bat} - C_{bat80\%}}{\frac{I_p + I_k}{2}} = 7,8426h \quad (3.5.)$$

Ukupno vrijeme punjenja bi bio zbroj svih faza prikazano u izrazu 3.6.:

$$t_{uk} = t_1 + t_2 + t_3 = 29,6073h \quad (3.6.)$$

Dugotrajan proces punjenja baterije jedan je od negativnih strana solarnog punjača. Međutim, postoje mogućnosti kako bi se ubrzao proces punjenja. Koristeći modul za punjenje s učinkovitosti od 95% bi se povećala struja punjenja te time i skratilo vrijeme punjenja. Još jedan način kako povećati struju punjenja bi bilo ugrađivanje pojačala kako bi se povećala snaga. Povećanje snage se može dobiti i korištenjem solarnog panela koji generira veći iznos snage.

## 4. ZAKLJUČAK

U ovom završnom radu proučen je solarni punjač koji služi za napajanje elektroničkih uređaja. Istraživanje o načina rada solarnih ćelija i baterija pokazalo je prednosti i nedostatke solarnih punjača.

Pozitivna strana solarnih punjača je da mogu zamijeniti ovisnost o električnoj mreži. Osim toga, ekološki su prihvatljivi i mobilni što ih čini idealnim uređajem za korištenje u vanjskim aktivnostima.

Unatoč pozitivnim karakteristikama, postoje i ograničenja solarnih punjača. Ovisni su o jačini svjetlosti sunca te kutu pod kojim sunčeve zrake padaju na solarni panel. Uz to, vrijeme punjenja traje duže u odnosu na tradicionalno punjenje baterije.

Za vrijeme istraživanja uspješno su provedena mjerenja pojedinih dijelova sklopa kao i cjelokupnog sklopa. Doneseni su zaključci o faktorima koji utječu na transformaciju sunčeve energije i efikasnost sklopa. Izmjereni dug vremenski period predstavlja izazov u korištenju sklopa. Za rješavanje ovog problema potrebno je razmotriti korištenje naprednijeg modula za punjenje ili efikasnijeg solarnog panela kako bi se skratilo vrijeme punjenja.

Solarni punjač je ekološki prihvatljivo rješenje za prijenosno punjenje elektroničkih uređaja. Mogu potaknuti smanjenje upotrebe tradicionalnog napajanja i povećati pozitivan utjecaj na okoliš.

Naposljetku, solarni punjači imaju mogućnost doprinošenja smanjenju potrošnje fosilnih goriva, zaštiti okoliša i promicanju energetske neovisnosti.

## LITERATURA

[1] EKO-SUSTAV

<https://eko-sustav.hr/strucni-clanci/sunceva-solarna-energija>, (Pristupljeno: 19.08.2023.)

[2] A.Kirin, F. Žugčić, PRINCIP RADA I PRIMJENA FOTONAPONSKIH ČELIJA, VII. međunarodni stručno-znanstveni skup ZAŠTITA NA RADU I ZAŠTITA ZDRAVLJA, str. 911-916, Zadar, Hrvatska, 12.09.2018. - 15.09.2018.

[3] DS New Energy

<https://hr.dsnsolar.com/info/the-different-materials-used-to-make-solar-pan-54371941.html>, (Pristupljeno: 10.05.2023.)

[4]ThPanorama

<https://hr.thpanorama.com/articles/medio-ambiente/10-ventajas-y-desventajas-de-la-energia-solar.html>, (Pristupljeno: 19.08.2023.)

[5] Republic Of Solar

<https://thesolarlabs.com/ros/future-of-solar-energy-predictions-for-2023/>, (Pristupljeno: 20.08.2023.)

[6] Australian Academy of Science

<https://www.science.org.au/curious/technology-future/batteries>, (Pristupljeno: 9.6.2023.)

[7] PC Chip

<https://pcchip.hr/ostalo/tech/baterije-vrste-tehnologija-izrade-i-nacin-rada/>, (Pristupljeno: 9.6.2023.)

[8] Plmen

<http://hr.plmen-battery.com/news/the-difference-between-nickel-metal-hydride-nickel-cadmium-batteries-and-lithium-batteries/>, (Pristupljeno: 10.6.2023.)

[9] Soldered

<https://soldered.com/hr/learn/bas-malo-o-litij-ion-baterijama/>, (Pristupljeno: 12.06.2023.)

[10] Electrician Expert

<https://new.electricianexp.com/hr/9/cifrovaja-tehnika/akkumulatory/emkost-kak-izmerit/>, (Pristupljeno: 13.6.2023.)



[11] Medium

[https://thinkrobotics.medium.com/batteries-applications-characteristics-68bc32e64778,](https://thinkrobotics.medium.com/batteries-applications-characteristics-68bc32e64778)

(Pistupljeno: 28.08.2023.)

## **SAŽETAK**

Završni rad proučava i obrađuje solarni punjač kao uređaj koji konvertira elektromagnetske valove koje proizvodi sunce u električnu energiju s ciljem punjenja elektroničkih uređaja. Objasnjen je princip rada solarnih panela, kao i materijali korišteni za izradu tih panela, što omogućava prikaz različitih vrsta solarnih ploča. Drugi dio solarnog punjača fokusira se na punjenje punjivih baterija. Opisan je postupak punjenja baterija, kao i razlika između primarnih i sekundarnih baterija, pri čemu je ovaj rad posebno naglasio upotrebu sekundarnih baterija. Testiranje je provedeno kroz povezivanje električnog kruga s potrebnim komponentama kako bi se baterija uspješno i sigurno napunila te je izvršeno mjerenje efikasnosti elemenata sklopa i efikasnost kompletnog sklopa kao i analiza dobivenih rezultata. Rezultat ovog istraživanja je stjecanje znanja o radu solarnih ploča i baterija, što je ključno za daljnji razvoj ove tehnologije.

Ključne riječi: solarni punjač, solarni panel, punjiva baterija, testiranje učinkovitosti solarnog punjača

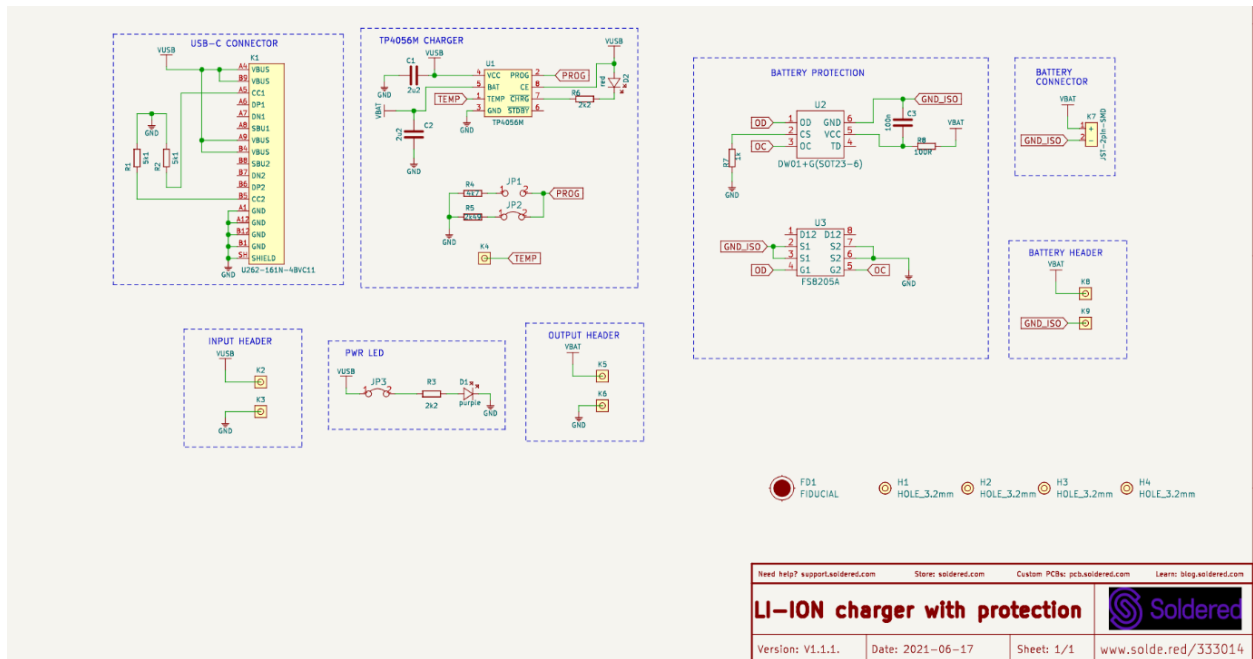
## **ABSTRACT**

The final thesis examines and elaborates on the solar charger as a device that converts electromagnetic waves produced by the sun into electrical energy with the aim of charging electronic devices. The operating principle of solar panels is explained, as well as the materials used in the production of these panels, allowing for the presentation of various types of solar panels. The second part of the solar charger focuses on charging rechargeable batteries. The battery charging process is described, as well as the differences between primary and secondary batteries, with this work particularly emphasizing the use of secondary batteries. Testing was conducted by connecting an electrical circuit with the necessary components to successfully and safely charge the battery, and the efficiency of the circuit elements as well as the overall circuit efficiency was measured, along with an analysis of the obtained results. The outcome of this research is the acquisition of knowledge about the operation of solar panels and batteries, which is crucial for the further development of this technology.

Keywords: solar charger, solar panel, rechargeable battery, efficiency testing of solar charger

# PRILOZI

## P 2.1. Shema modula za punjenje



P 2.2. Datasheet pretvarača napona s XL6009

**XL6009 Electrical Characteristics**

$T_a = 25^\circ\text{C}$ ; unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Unit
<i>System parameters test circuit figure4</i>						
VFB	Feedback Voltage	$V_{in} = 12\text{V to } 16\text{V}, V_{out}=18\text{V}$ $I_{load}=0.1\text{A to } 2\text{A}$	1.213	1.25	1.287	V
Efficiency	$\eta$	$V_{in}=12\text{V}, V_{out}=18.5\text{V}$ $I_{out}=2\text{A}$	-	92	-	%

**Electrical Characteristics (DC Parameters)**

$V_{in} = 12\text{V}$ ,  $GND=0\text{V}$ ,  $V_{in}$  &  $GND$  parallel connect a  $220\mu\text{f}/50\text{V}$  capacitor;  $I_{out}=0.5\text{A}$ ,  $T_a = 25^\circ\text{C}$ ; the others floating unless otherwise specified.

Parameters	Symbol	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Unit
Input operation voltage	$V_{in}$		5		32	V
Shutdown Supply Current	$I_{STBY}$	$V_{EN}=0\text{V}$		70	100	$\mu\text{A}$
Quiescent Supply Current	$I_q$	$V_{EN} = 2\text{V},$ $V_{FB} = V_{in}$		2.5	5	mA
Oscillator Frequency	$F_{osc}$		320	400	480	Khz
Switch Current Limit	$I_L$	$V_{FB} = 0$		4		A
Output Power NMOS	$R_{dson}$	$V_{in}=12\text{V},$ $I_{sw}=4\text{A}$		110	120	mohm
EN Pin Threshold	$V_{EN}$	High (Regulator ON) Low (Regulator OFF)		1.4 0.8		V
EN Pin Input Leakage Current	$I_H$	$V_{EN} = 2\text{V (ON)}$		3	10	$\mu\text{A}$
	$I_L$	$V_{EN} = 0\text{V (OFF)}$		3	10	$\mu\text{A}$
Max. Duty Cycle	$D_{MAX}$	$V_{FB}=0\text{V}$		90		%